



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISA ARC FLASH PADA SISTEM KELISTRIKAN DI
PT. ASAHIMAS FLAT GLASS TBK, SIDOARJO - JAWA
TIMUR**

Moch Irsad Taufiqi
NRP 2212 106 038

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**ARC FLASH ANALYSIS ON ELECTRICAL SYSTEM AT
PT. ASAHIMAS FLAT GLASS TBK, SIDOARJO - JAWA
TIMUR**

Moch Irsad Taufiqi
NRP 2212 106 038

Advisor Lecturer
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Analisa Arc Flash pada Sistem Kelistrikan di PT. Asahimas Flat Glass Tbk, Sidoarjo – Jawa Timur**” adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017

Moch Irsad Taufiqi
NRP. 2212106038

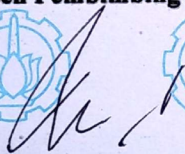
**ANALISA ARC FLASH PADA SISTEM
KELISTRIKAN DI PT. ASAHIMAS FLAT GLASS
TBK, SIDOARJO – JAWA TIMUR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

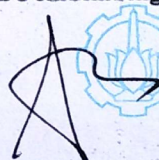
Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

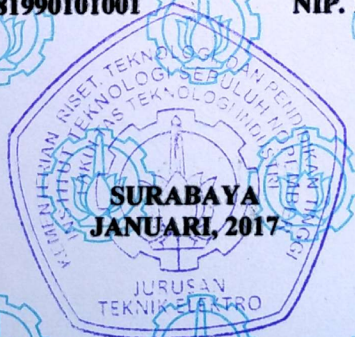


Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II



Ir. Sjamsjul Anam, MT.
NIP. 196307251990031002



ANALISA ARC FLASH PADA SISTEM KELISTRIKAN DI PT, ASAHIMAS FLAT GLASS TBK, SIDOARJO – JAWA TIMUR

Nama : Moch Irsad Taufiqi
Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

ABSTRAK

Arc Flash adalah total energi yang dilepaskan ketika terjadi gangguan hubung singkat. Energi akan dilepaskan melalui udara mengalir ke fasa lain, netral atau mengalir ke tanah. Ketika pekerja yang tidak dilengkapi alat pelindung diri berada di dekat dengan *Arc Flash*, maka akan menyebabkan cedera serius dan bahkan kematian. Berdasarkan standar IEEE 1584-2002 yang mengatur tentang analisa bahaya busur api pada sistem tegangan rendah dan menengah, pengguna dapat dengan mudah menentukan batas keamanan untuk para pekerja. Menurut rekomendasi standar IEEE perhitungan arus hubung singkat selalu memperhatikan kontribusi arus gangguan dari generator, motor induksi dan sinkron. Besar kecilnya energi *arc flash* dapat ditentukan dari beberapa sudut pandang. Diantaranya ialah nilai energi arc flash akan besar apabila dihitung dengan menggunakan arus *bolted three phase fault*, sedangkan dari sudut *arc clearing time* yang didapat dari waktu dimana arus gangguan saat itu terjadi akan menghasilkan nilai energi busur api yang lebih rendah. Untuk mengurangi atau menurunkan nilai dari *arc clearing time* ini banyak metode yang digunakan, diantaranya adalah melakukan *resetting* koordinasi proteksinya seperti yang dilakukan dalam tugas akhir ini. Untuk hasil yang didapat pada tugas akhir ini adalah pada tipikal 1 nilai insiden energi tertinggi 31.002 cal/cm² naik menjadi 39.9 cal/cm², pada tipikal 2 nilai insiden energi tertinggi 29.1 cal/cm² turun menjadi 26.1 cal/cm², pada tipikal 3 nilai insiden energinya mengalami penurunan yaitu dari 82.8 cal/cm² menjadi 37.7 cal/cm².

Kata Kunci — *Arc Flash, Arc clearing time, Arus bolted three phase fault, koordinasi proteksi, standar IEEE 1584-2002.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

ARC FLASH ANALYSIS ON ELECTRICAL SYSTEM at PT. ASAHIMAS FLAT GLASS TBK, SIDOARJO – JAWA TIMUR

Name : Moch Irsad Taufiqi
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Advisor II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

ABSTRACT

Arc Flash is the total energy released when the short circuit . Energy is released through the air flowing into another phase , neutral or flows into the ground. When workers are not equipped with personal protective equipment be near the Arc Flash , it will cause serious injury and even death. Based on the IEEE 1584-2002 standard governing hazard analysis arcing at low and medium voltage systems , the user can easily determine the safety limit for workers. According to the recommendations of IEEE 1584-2002 standard short-circuit current calculation always looking at to the contribution of fault current from the generator , induction and synchronous motors. The size of the arc flash energy can be determined from the some of view point. Among them is the value of arc flash energy will be greater if calculated using three- phase bolted fault current , while from the corner arc clearing time obtained from the time where the fault current at the time it happens will generate arc energy value lower. To reduce or decrease the value of the arc clearing this time many of the methods used, like doing resetting the coordination of protection. The result obtained in this thesis is, in typical 1 the highest value of incident energy 31.002cal/cm² increased to 39.9 cal/cm², in typical 2 the highest value of incident energy 29.1 cal/cm² fell to 26.1 cal/cm², in typical 3 the highest value of incident energy 82.8 cal/cm² fell to 37.7 cal/cm.

Key word - Arc Flash, Arc clearing time, Bolted three phase fault current, coordination of protection current, IEEE 1584-2002 standard.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, terucap syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ **Analisa Arc Flash Pada Sistem Kelistrikan di PT. Asahimas Flat Glass Tbk, Sidoarjo – Jawa Timur**”. Tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah berjasa dalam proses penyusunan tugas akhir ini, yaitu :

1. Allah SWT atas karunia, berkah dan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis serta kakak dan adik penulis atas segala dukungan, dorongan semangat dan doa untuk keberhasilan penulis.
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. Dan bapak Ir. Sjamsjul Anam, MT. Selaku dosen pembimbing yang dengan sabar telah memberikan saran, masukan serta bimbingannya.
4. Rekan-rekan kontrakan yang senantiasa memberikan penulis beberapa bantuan yang sangat berarti.
5. Segenap civitas akademika Jurusan Teknik Elektro ITS dan keluarga besar Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro atas dukungan, kerja sama, doa dan masukannya selama proses perkuliahan maupun pengerjaan tugas akhir

Besar harapan penulis agar buku ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran membangun dari seluruh pembaca.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
 BAB 2 KOORDINASI PROTEKSI DAN ARC FLASH SISTEM TENAGA LISTRIK	
2.1 Fenomena Busur Api Listrik	5
2.2 Perhitungan Energi <i>Arc Flash</i> Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002	5
2.3 Batas Jarak Perlindungan Arc Flash	9
2.4 Pengelompokan Tingkatan Energi Busur Api Terhadap PPE (Personal Protective Equipment)	11
2.5 Gangguan Sistem Tenaga Listrik.....	11
2.5.1 Gangguan Beban Lebih.....	12
2.5.2 Gangguan Hubung Singkat.....	12
2.5.3 Gangguan Tegangan Lebih.....	13
2.6 Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	13
2.6.1 Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah.....	13
2.6.2 Hubung Singkat Antar Fasa	14
2.6.3 Hubung Singkat Fasa ke Netral.....	14
2.6.4 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah.....	14
2.7 Proteksi Sistem Tenaga Listrik	14
2.8 <i>Over Current Relay</i>	15

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN DI PT. ASAHIMAS FLAT GLASS TBK. SIDOARJO

3.1	Distribusi Tenaga Listrik PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo	20
3.2	Sistem Pembangkit Tenaga Listrik PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo	20
3.3	Sistem Distribusi Tenaga Listrik PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo	20
3.3.1	Packing S/S	23
3.3.2	A2 Substation#2 S/S	24
3.3.3	Utility S/S	25
3.3.4	Batch House	27
3.3.5	Diesel Generator Substation	29
3.3.6	Melting S/S	30
3.3.7	Station Service S/S	33
3.3.8	A2 Substation#1 S/S	36
3.3.9	Bath Heater S/S	37
3.4	Sistem Proteksi di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo	38
3.4.1	Peralatan Proteksi Generator	38
3.4.2	Peralatan Proteksi Transformator	38
3.4.3	Peralatan Pengaman Arus Lebih	39

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1	Pemodelan Sistem Kelistrikan	41
4.2	Pemilihan Tipikal Koordinasi Setting Rele Pengaman pada PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo	41
4.3	Analisa Hubung Singkat	42
4.4	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa	43
4.4.1	Analisa Tipikal 1	43
4.4.2	Analisa Tipikal 2	48
4.4.3	Analisa Tipikal 3	53
4.5	Hasil Simulasi Incident Energy Arc Flash	57
4.6	Perhitungan Incident Energy Arc Flash Sesuai Standart IEEE 1584-2002	60
4.6.1	Perhitungan Incident Energy Arc Flash Tipikal 1	60
4.6.2	Perhitungan Incident Energy Arc Flash Tipikal 2	63
4.6.3	Perhitungan Incident Energy Arc Flash Tipikal 3	65
4.7	Perbandingan Nilai Flash Protection Boundary (FPB) Kondisi Existing dan Resetting	67

4.8 Perbandingan Incident Energy Arc Flash Kondisi Resetting Antara Simulasi dan Perhitungan	67
4.9 Personal Protective Equipment (PPE) yang Harus Digunakan	68

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	72

DAFTAR PUSTAKA	73
----------------------	----

LAMPIRAN

RIWAYAT PENULIS

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

TABEL OF CONTENTS

	PAGE
TITEL	
AUTHENTICITY	
APPROVAL SHEET	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
PREFACE	v
TABEL OF CONTENT	vii
ILLUSTRATION	ix
TABEL.....	xi

CHEPTER 1 INTRODUCTION

1.1 Background.....	1
1.2 Problems	3
1.3 Research Objective	3
1.4 Methodology.....	3
1.5 Writing Systematic	3
1.6 Relevance	4

CHEPTER 2 ARC FLASH AND PROTECTION

2.1 Arc Flash	5
2.2 Calculation Arc Flash Energy Based on The Standard IEEE 1584-2002	5
2.3 Arc Flash Boundary Protection	9
2.4 A Massive Grouping of Energy For PPE (Personal Protective Equipment)	11
2.5 Electric Power System Fault.....	11
2.5.1 Overcurrent Fault.....	12
2.5.2 Short Circuit Fault.....	12
2.5.3 Overvoltage Fault.....	13
2.6 Calculating of Short Circuit.....	13
2.6.1 Short Circuit 3 Phase to Ground.....	13
2.6.2 Short Circuit Phase Phase	14
2.6.3 Short Circuit Phase to Netral	14
2.6.4 Short Circuit 1 Phase to Ground.....	14
2.7 Electric Power System Protection	14

2.8	Over Current Relay	15
-----	--------------------------	----

CHEPTER 3 ELECTRIC SYSTEM IN PT. ASAHIMAS FLAT GLASS TBK. SIDOARJO

3.1	Electric Power Distribution in PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo	20
3.2	Electric Power System in PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo	20
3.3	Electric Power Distribution in PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo	20
3.3.1	Packing S/S	23
3.3.2	A2 Substation#2 S/S	24
3.3.3	Utility S/S	25
3.3.4	Batch House	27
3.3.5	Diesel Generator Substation	29
3.3.6	Melting S/S	30
3.3.7	Station Service S/S	33
3.3.8	A2 Substation#1 S/S	36
3.3.9	Bath Heater S/S	37
3.4	Protection System PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo	38
3.4.1	Protection Device Generator	38
3.4.2	Protection Device Transformer	38
3.4.3	Protection Device Overcurrent	39

CHAPTER 4 ANALYSIS AND SIMULATION

4.1	Modeling Electric System	41
4.2	Setting Coordination Relay in PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo	41
4.3	Short Circuit Analysis	42
4.4	Coordination Relay	43
4.4.1	Analysis Typical 1	43
4.4.2	Analysis Typical 2	48
4.4.3	Analysis Typical 3	53
4.5	Simulation Incident Energy Arc Flash	57
4.6	Calculation of Incident Energy Arc Flash Based on The Standard IEEE 1584-2002	60
4.6.1	Calculation Incident Energy Arc Flash Typical 1	60
4.6.2	Calculation Incident Energy Arc Flash Typical 2	63

4.6.3 Calculation Incident Energy Arc Flash Typical 3	65
4.7 Comparison of Flash Protection Boundary (FPB) Condition Existing And Resetting.....	67
4.8 Comparison condition of Energy Arc Flash Resetting between Simulation and Calculation	67
4.9 Personal Protective Equipment (PPE).....	68

CHAPTER 5 CLOSING

5.1 Conclusion.....	71
5.2 Suggestion	72

REFERENCES	73
-------------------------	----

ATTACHMENT

BIOGRAPHY

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Ilustrasi batas aman dari konduktor bertegangan	8
Gambar 2.2 Pengelompokan Alat Pelindung Diri	11
Gambar 2.3 Skema Konsep Kerja Rele Pengaman.....	15
Gambar 2.4 Karakteristik Rele Arus Waktu Tertentu (<i>Definite Time</i>)	16
Gambar 2.5 Karakteristik Rele <i>Inverse</i>	16
Gambar 2.6 Karakteristik Rele Arus Lebih Instan	17
Gambar 3.1 Single Line Diagram Composite Network Packing S/S ..	24
Gambar 3.2 A2 Substation#2 S/S	25
Gambar 3.3 Single Line Diagram Composite Network Utility S/S 1 ..	26
Gambar 3.4 Single Line Diagram Composite Network Utility S/S 2 ..	27
Gambar 3.5 Single Line Diagram Composite Network Batch House ..	28
Gambar 3.6 Diesel Generator Substation 1	29
Gambar 3.7 Diesel Generator Substation 2	30
Gambar 3.8 Single Line Diagram Composite Network Melting S/S 1 ..	31
Gambar 3.9 Single Line Diagram Composite Network Melting S/S 2 ..	32
Gambar 3.10 <i>Single Line Diagram Composite Network Station Service</i> S/S 1	34
Gambar 3.11 <i>Single Line Diagram Composite Network Station Service</i> S/S 2	35
Gambar 3.12 <i>Single Line Diagram Composite Network A2 Substation#1</i> S/S	36
Gambar 3.13 <i>Single Line Diagram Composite Network Bath Heater</i> ...	37
Gambar 4.1 Koordinasi Rele Tipikal 1	44
Gambar 4.2 Koordinasi Rele Tipikal 2	49
Gambar 4.3 Koordinasi Rele Tipikal 3	54

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Faktor Untuk Peralatan dan Tingkat Tegangan..... 7
Tabel 2.2	<i>Typical Working Distance</i> 7
Tabel 2.3	Pengelompokan Kategori Resiko Sesuai dengan NFPA 70E 9
Tabel 2.4	Koefisien <i>Inverse Time Dial</i> 18
Tabel 3.1	Trafo Daya pada PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo .. 22
Tabel 3.2	List Beban Lump pada Packing S/S 23
Tabel 3.3	List Beban Lump pada A2 Substation#2 S/S..... 24
Tabel 3.4	List Motor Induksi pada Utiliti S/S 25
Tabel 3.5	List Beban Lump pada Utility S/S..... 26
Tabel 3.6	List Beban Lump pada Bus Batch House S/S 29
Tabel 3.7	List Beban Motor Induksi pada Substation Melting S/S. ... 33
Tabel 3.8	List Beban Lump pada Substation Melting S/S. 33
Tabel 3.9	List Beban Motor Induksi pada Station Service S/S 33
Tabel 3.10	List Beban Lump pada Station Service S/S 33
Tabel 3.11	List Beban Lump pada Substation A2 Substation#1 S/S.... 37
Tabel 3.12	List Beban Lump pada Substation Bath Heater S/S. 38
Tabel 4.1	Data Hubung Singkat Bus pada Tipikal 1 42
Tabel 4.2	Data Hubung Singkat Bus pada Tipikal 2..... 43
Tabel 4.3	Data Hubung Singkat Bus pada Tipikal 3..... 43
Tabel 4.4	Hasil simulasi incident energi arc flash pada sistem eksisting tipikal58
Tabel 4.5	Hasil simulasi incident energi <i>arc flash software</i> simulasi pada sistem <i>resetting</i> tipikal 158
Tabel 4.6	Hasil simulasi incident energi <i>arc flash</i> pada sistem eksisting tipikal 2.....58
Tabel 4.7	Hasil simulasi incident energi <i>arc flash</i> pada sistem <i>resetting</i> tipikal 2.....59
Tabel 4.8	Hasil simulasi incident energi <i>arc flash</i> pada sistem eksisting tipikal 3.....59
Tabel 4.9	Hasil simulasi incident energi <i>arc flash</i> pada sistem <i>resetting</i> tipikal 3.....60
Tabel 4.10	Data Perbandingan FPB Kondisi <i>Existing</i> dan <i>Resetting</i> ...67
Tabel 4.11	Perbandingan incident energi <i>arc flash</i> pada tipikal 168
Tabel 4.12	Perbandingan incident energi <i>arc flash</i> pada tipikal 268
Tabel 4.13	Perbandingan incident energi <i>arc flash</i> pada tipikal 368

Tabel 4.14 Jenis PPE Berdasarkan Kategori Bahaya Busur Api Setelah
Resetting 69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

PT. Asahimas *Flat Glass Tbk.* Sidoarjo adalah perusahaan produksi kaca lembaran dan kaca pengaman otomotif. Untuk menjaga kestabilan produksi maka diperlukan sistem kelistrikan yang handal. Sistem kelistrikan yang handal adalah sistem kelistrikan yang dapat menyalurkan daya dari sumber daya ke beban dengan baik. Sistem kelistrikan yang baik harus dilengkapi dengan sistem proteksi yang baik pula.

Sistem proteksi berkaitan dengan arus gangguan. PT. Asahimas *Flat Glass Tbk.* Sidoarjo merupakan salah satu perusahaan yang besar dengan sistem kelistrikan yang besar pula. Semakin besar kapasitas sumber listrik yang digunakan untuk operasi produksi, maka semakin besar pula nilai arus gangguan dan bahaya busur api (*arc flash*).

Standar NFPA 70E-2004 menetapkan fenomena *arc flash* sebagai kondisi yang berbahaya yang berhubungan dengan pelepasan energi yang disebabkan busur api. Energi akan dilepaskan melalui udara mengalir ke fasa yang lain, netral atau mengalir ke tanah. *Arc flash* merupakan fenomena percikan api yang timbul akibat adanya arus gangguan hubung singkat.

Hal-hal yang dapat memicu gangguan hubung singkat dapat disebabkan berbagai faktor, salah satunya adalah akibat kegagalan isolasi pada konduktor atau rel busbar pada *switchgear* sehingga memicu terjadinya perpindahan muatan yang diakibatkan perbedaan potensial. Semakin cepat rele pengaman bekerja semakin kecil pula busur api yang dihasilkan dan berlaku sebaliknya. Oleh karena itu, studi untuk mengetahui besar busur api yang dihasilkan pada masing-masing *switchgear* perlu dilakukan untuk memberikan peringatan kepada para pekerja maupun orang disekitarnya akan dampak yang ditimbulkan serta perlengkapan keselamatan yang harus dikenakan sebagai langkah pencegahan agar terhindar insiden bahaya percikan busur api. PT. Asahimas *Flat Glass, Tbk.* perlu melakukan perhitungan insiden energi *arc flash* karena pada studi-studi sebelumnya belum ada yang menganalisa tentang bahaya *arc flash* dan pengklarifikasian katagori besar energi *arc flash* sesuai dengan katagorinya.

Pada tugas akhir ini standar yang digunakan sebagai acuan dalam katagori bahaya *arc flash* yang ditimbulkan adalah standar NEC [1]. Namun, pada standar tersebut masih memiliki kekurangan dalam penentuan energi *arc flash* yang timbul. Maka penulis paper ini akan memodifikasi standart NEC untuk menentukan pengkatagorian dan penentuan PPE untuk kelengkapan pengamanan pada lokasi terjadinya insiden *arc flash*. Pada beberapa kasus tidak dicantumkan tanda bahaya *arc flash* pada peralatan dan hal tersebut sangat berbahaya jika terjadi insiden *arc flash*. Tanda *arc flash* pada peralatan sangat penting untuk memberikan peringatan pada manusia untuk berhati-hati dan menggunakan perlengkapan pengaman jika ada kegiatan disekitar peralatan tersebut [2]. Untuk menentukan perlengkapan pengaman manusia dapat dilihat pada NFPA70E [3].

Selain berdampak pada manusia, *arc flash* juga berdampak pada peralatan-peralatan lain disekitarnya. Besar *arc flash* tergantung dari waktu kerja sistem pengaman akibat gangguan arus hubung singkat [4]. Oleh Karena itu, studi untuk mengetahui besar *arc flash* perlu dilakukan untuk memberikan peringatan kepada para perkerja maupun orang-orang disekitarnya terhadap dampak yang timbul serta perlengkapan keselamatan yang harus dikenakan sebagai langkah awal pencegahan dari bahaya *arc flash* [5].

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Apakah katagori arc flash yang ada berada pada level tinggi.
2. Koordinasi proteksi pada sistem existing (yang telah ada).
3. Bagaimana mengurangi insiden energi yang muncul.

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana koordinasi pengaman OCR yang selektif dan efektif pada plant PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo.
2. Bagaimana cara mengetahui besar insiden energi arc flash dengan perhitungan standar IEEE 1584-2002 pada level tegangan menengah dan tegangan tinggi.

1.4 Tujuan

Tujuan dilaksanakannya tugas akhir ini adalah :

1. Menghitung insiden energi arc flash yang terjadi berdasarkan koordinasi proteksi yang telah dilakukan.
2. Mengklarifikasi besar energi busur api sesuai dengan katagorinya menurut standar IEEE 1584-2002.

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan pada tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Studi Literatur
Penulis mempelajari literatur mengenai arus hubung singkat, analisa sistem tenaga, koordinasi proteksi, perhitungan arc flash.
2. Pengumpulan Data
Pengambilan data yang didapat dari single line diagram berupa spesifikasi peralatan (generator, transformator, motor induksi, circuit breaker dan peralatan lainnya).
3. Simulasi
4. Analisa Data
Dari simulasi dan pemodelan didapatkan karakteristik dan katagori arc flash dari sistem kelistrikan lalu dilakukan analisa terhadap hasil yang diperoleh.
5. Penulisan Buku Tugas Akhir
Penulisan laporan adalah rangkuman kesimpulan akhir dari beberapa rangkaian metodologi diatas untuk menggambarkan hasil serta analisa dan simulasi yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Bab 1 : Pendahuluan.

Bab ini berisi latar belakang, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi, relevansi dan sistematika penulisan.

Bab 2 : Gangguan Sistem Tenaga Listrik Dan Arc Flash

Bab ini membahas masalah fenomena arc flash dan PPE, gangguan sistem tenaga listrik, analisis hubung singkat, proteksi sistem tenaga listrik, setting rele OCR dan koordinasi proteksi sistem tenaga listrik.

Bab 3 : Sistem Kelistrikan PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo

Bab ini menjelaskan mengenai sistem kelistrikan yang ada di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo.

Bab 4 : Analisa Perhitungan Besar Energi Busur Api.

Bab ini membahas mengenai perhitungan energi busur api yang dihasilkan sesuai standard an membandingkannya dengan sebelum resetting.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari keseluruhan pembahasan yang telah dilakukan.

BAB II

KOORDINASI PROTEKSI DAN ARC FLASH SISTEM TENAGA LISTRIK

2.1 Pengertian Busur Api Listrik

Definisi dari busur api (*arc lash*) adalah pelepasan energi panas yang sangat tinggi akibat adanya *arc fault* ataupun *bolted fault*. *Arc fault* sendiri merupakan arus gangguan yang mengalir melalui udara antara konduktor dengan konduktor atau konduktor dengan tanah. Sedangkan *bolted fault* menggunakan perantara konduktor sebagai jalur arus gangguannya.

Efek yang dihasilkan *arc* dapat berupa radiasi panas, cahaya yang menyilaukan, dan tekanan yang sangat besar. Temperatur dari radiasi panas yang dihasilkan dapat mencapai sekitar 35.000 ° F, atau sekitar empat kali panas permukaan matahari. Temperatur yang tinggi juga merubah keadaan konduktor dari padat ke logam cair panas dan uap.

Penting untuk memprediksi besarnya energi yang dihasilkan pada suatu bus akibat busur api. Beberapa variabel yang mempengaruhinya meliputi arus *bolted fault* atau arus hubung singkat maksimum, waktu peralatan proteksi untuk menghilangkan gangguan, jarak antar konduktor, tegangan sistem, dan jarak titik *arc* ke pekerja.

2.2 Perhitungan Energi Busur Api Berdasarkan Standar IEEE 1584-2002

2.2.1 Arus Busur Api

Arus busur api adalah arus gangguan selama terjadi busur api yang melewati plasma. Arus busur api pada titik pusat dan berapa bagian arus yang melalui peralatan pelindung pertama harus ditentukan. Arus gangguan busur api tergantung pada *bolted fault current*. *Bolted fault current* di peralatan proteksi dapat ditentukan dari studi arus hubung singkat dengan melihat satu bus gangguan.

Perhitungan *arcing current* merupakan langkah awal dalam perhitungan level energi busur api. Nilai *arcing current* diperoleh berdasarkan arus hubung singkat tiga fasa. Berikut adalah persamaan untuk menghitung *arcing current* [6]:

$$\begin{aligned} &\text{Untuk sistem dengan level tegangan} < 1 \text{ kV,} \\ \log I_a = &K + 0.662 \log I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V (\log I_{bf}) \\ &- 0.00304 G (\log I_{bf}) \end{aligned} \quad (2.1)$$

Sedangkan untuk sistem dengan level tegangan > 1 kV digunakan persamaan berikut:

$$\log I_a = 0.00404 + 0.983 \log I_{bf} \quad (2.2)$$

Keterangan:

- I_a = *arcing current* (kA)
- K = konstanta (-0.153 untuk konfigurasi terbuka dan -0.097 untuk konfigurasi dalam ruang)
- I_{bf} = *bolted fault current* (kA)
- V = tegangan sistem (kV)
- G = jarak antar konduktor (mm)

2.2.2 Insiden Energi

Insiden energi adalah sebuah nilai yang menunjukkan informasi yang dapat digunakan untuk menentukan pakaian pelindung seperti apa yang dibutuhkan dan juga dapat digunakan dalam pelaksanaan analisa resiko. Perhitungan nilai insiden energi busur api pada sistem dengan level tegangan di bawah 15 kV menggunakan dua persamaan. Pertama menentukan \log_{10} *normalized*. Persamaan ini berdasarkan data *normalized* untuk waktu *arcing* 0.2 detik dan jarak dari titik *arcing* ke pekerja sejauh 610 mm. Persamaannya sebagai berikut:

$$\log E_n = K1 + K2 + 1.081 \log I_a + 0.0011 G \quad (2.3)$$

Setelah didapat nilai E_n , selanjutnya dapat dihitung nilai insiden energi saat terjadi gangguan dan persamaannya adalah sebagai berikut:

$$E = 4.184 \times C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0.2}\right) \times \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \quad (2.4)$$

Keterangan:

- E_n = insiden energi *normalized* untuk waktu dan jarak (J/cm^2)
- $K1$ = konstanta [-0,792 untuk konfigurasi terbuka (*no enclosure*) dan -0,555 untuk konfigurasi *box (enclosed equipment)*]
- $K2$ = konstanta (0 untuk sistem *ungrounded* dan *high-resistance grounded* sedangkan -0,113 untuk sistem *grounded*)
- G = jarak antar konduktor (mm)
- E = insiden energi (J/cm^2)
- C_f = faktor pengali (1.0 untuk tegangan di atas 1 kV dan 1.5 untuk tegangan di bawah 1 kV)
- t = waktu *arcing* (detik)
- D = jarak antara titik *arcing* dengan pekerja (mm)
- X = jarak eksponen

Tabel 2.1 Faktor Untuk Peralatan dan Tingkat Tegangan [16]

Tegangan Sistem (kV)	Jenis Peralatan	Jarak antar Konduktor (mm)	Faktor Jarak x
0.208-1	Udara terbuka	10-40	2
	<i>Switchgear</i>	32	1.473
	<i>MCC</i> dan panel	25	1.641
0.208-1	Kabel	13	2
>1-5	Udara terbuka	102	2
	<i>Switchgear</i>	13-102	0.973
	Kabel	13	2
>5-15	Udara terbuka	13-153	2
	<i>Switchgear</i>	153	0.973
	Kabel	13	2

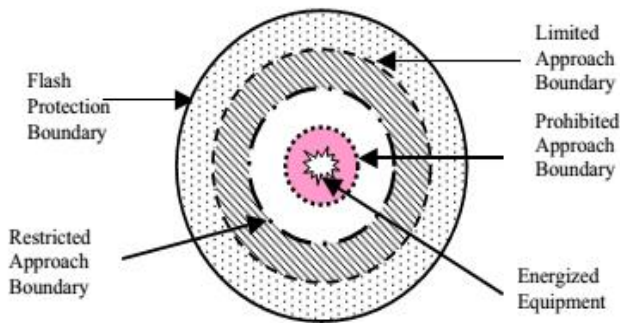
Tabel 2.2 *Typical Working Distance* [16]

<i>Classes of Equipment</i>	<i>Typical Working Distance (mm)</i>
15 kV <i>Switchgear</i>	910
5 kV <i>Switchgear</i>	910
<i>Low Voltage Switchgear</i>	610
<i>Low Voltage MCCs and Panelboards</i>	455
<i>Cable</i>	455
<i>Other</i>	<i>To be Determined in Field</i>

2.3 Batas Jarak Perlindungan *Arc Flash*

Batas jarak perlindungan terhadap titik *Arc Flash* disebut *flash protection boundary*. Ini merupakan batas jarak tertentu dengan konduktor aktif yang memungkinkan seseorang terpapar bahaya *Arc Flash* (*Arc-Flash Hazard*). Batasan jarak ini dapat dikategorikan setelah nilai insiden energi *Arc Flash* diketahui. Untuk meningkatkan kewaspadaan terhadap bahaya *Arc Flash*, pengetahuan tentang *flash protection boundary* sangat penting untuk dipahami sebagai upaya perlindungan baik terhadap peralatan maupun terhadap personal[6].

Pada gambar 2.1 terdapat ilustrasi batas aman dari konduktor yang bertegangan.



Gambar 2.1 Ilustrasi batas aman dari konduktor bertegangan.

Flash protection boundary seperti terlihat pada gambar 2.1, meliputi:

- a. *Limited Approach Boundary*
Merupakan batas perlindungan untuk tidak dilewati oleh orang-orang yang tidak memenuhi syarat kecuali diawasi oleh orang-orang yang berpengalaman. Area ini batas pendekatan jarak dari bagian konduktor aktif dimana terdapat sebuah bahaya sengatan listrik.
- b. *Restricted Approach Boundary*
Batas perlindungan yang hanya boleh dilewati oleh orang-orang yang berpengalaman dan saat melintasi batas ini harus mengenakan pakaian dan peralatan yang dibutuhkan. Peningkatan *arc flash* dapat terjadi dikarenakan kombinasi *arc flash* dengan gerakan pekerja yang tidak sengaja.
- c. *Prohibited Approach Boundary*
Batas pendekatan/perlindungan jarak dari bagian konduktor aktif dimana pekerja dianggap seperti melakukan kontak langsung dengan konduktor aktif.
- d. *Flash Protection Boundary*
Merupakan batas perlindungan, dimana tingkat *incident energy* sama dengan $1,2 \text{ cal/cm}^2$. Area ini memungkinkan pekerja mengalami dampak cedera parah jika terjadi *arc flash*

Flash boundary dapat dengan mudah dihitung ketika insiden energi busur api telah diketahui. Persamaan ini merupakan persamaan yang digunakan ketika level tegangan <15 kV [6]:

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (2.6)$$

Sedangkan untuk level tegangan >15 kV menggunakan persamaan berikut [11]:

$$D_B = \sqrt{2,142 \times 10^6 V \cdot I_{bf} \cdot \left(\frac{t}{E_B} \right)} \quad (2.7)$$

Dimana:

D_B = jarak batas dari titik arcing (mm)

C_f = faktor pengali (1.0 untuk tegangan di atas 1 kV dan 1.5 untuk tegangan di bawah 1 kV)

E_n = *incident energy normalized*

E_B = *incident energy in J/cm² at the boundary distance*

t = waktu arcing (detik)

x = jarak eksponen

I_{bf} = *bolted fault current* (kA)

E_b = insiden energi dalam J/cm² pada jarak *boundary*. E_B diset 5 J/cm² (5 J/cm² = 1.2 cal/cm²)

2.4 Pengelompokan Tingkatan Energi Busur Api Terhadap PPE (*Personal Protective Equipment*)

Kategori bahaya atau resiko busur api ditentukan menggunakan nomor yang mewakili tingkat bahaya berdasarkan insiden energi. Kategori 0 merepresentasikan adanya bahaya sedikit atau bahkan tidak ada. Sedangkan kategori 4 adalah yang paling berbahaya. Tabel 2.3 menunjukkan klasifikasi resiko yang mengacu pada standar NFPA 70E 2004 berdasarkan referensi [3]. Para pekerja harus mempersiapkan diri dengan peralatan serta perlengkapan sesuai dengan kategori resiko sebelum memulai pekerjaan atau inspeksi didekat area yang bertegangan. Dokumentasi dan label peringatan juga diperlukan.

Tabel 2.3 Pengelompokan Kategori Resiko Sesuai dengan NFPA 70E

Kategori	Level Energi (Cal/cm ²)	PPE – PPC yang Dibutuhkan
0	< 2	Bahan yang tidak meleleh, mudah terbakar (Contoh : kain katun, wol, sutra, atau campuran bahan – bahan tersebut)
1	2 – 4	Pakaian dan celana yang tahan api
2	4 – 8	Pakaian dalam dengan kain katun, serta pakaian luar dan celana yang tahan api
3	8 – 25	Pakaian dalam kain katun ditambah baju dan celana yang tahan api ditambah pakaian tahan api yang mencakup seluruh tubuh
4	25 – 40	Pakaian dalam katun ditambah baju dan celana tahan api ditambah mantel dan celana tahan api double layer

Adapun tampilan visual pengelompokan alat perlindungan diri berdasarkan kategori seperti Gambar 2.2 berdasarkan referensi [16].



Gambar 2.2 Pengelompokan Alat Perlindungan Diri Berdasarkan Kategori

2.5 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Sumber gangguan pada suatu sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor dari dalam sistem dan dari luar sistem. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain:

1. Tegangan dan arus yang tidak normal.
2. Pemasangan yang kurang baik.
3. Kesalahan mekanis karena proses penuaan pada peralatan.
4. Beban lebih.
5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat pada isolasi.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain:

1. Gangguan-gangguan yang bersifat mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus pada isolasi peralatan (*breakdown*).
3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, bintang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Jenis gangguan (*fault*) pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi 2 kelompok [17]:

1. Gangguan yang bersifat temporer, dimana gangguan dapat hilang dengan sendirinya atau dengan bagian yang terganggu diputus secara sesaat dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan seketika, baik hilang dengan sendirinya maupun karena kerja alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.
2. Gangguan yang bersifat permanen, yaitu untuk memperbaikinya diperlukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Saat terjadi gangguan pada suatu sistem akan mengalir arus yang sangat besar pada menuju ke titik gangguan pada fasa yang terganggu, dimana arus gangguan tersebut memiliki nilai yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga dapat terjadi kenaikan temperatur/panas pada peralatan yang dapat menyebabkan kerusakan.

Penyebab Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik antara lain:

2.5.1 Gangguan Beban Lebih

Gangguan ini terjadi karena arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diizinkan ($I > I_n$). Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik (trafo, generator, motor, dll) dan pengamanan yang terpasang. Bila gangguan ini dibiarkan terus menerus, maka dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.

2.5.2 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dapat terjadi satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, tiga fasa, atau tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat asimetri. Gangguan hubung singkat tiga fasa merupakan gangguan hubung singkat simetri, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat asimetri [12].

Gangguan-gangguan yang timbul karena adanya gangguan hubung singkat antara lain:

1. Kerusakan pada peralatan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus-arus yang besar, arus tidak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah.
2. Stabilitas daya pada sistem menurun.
3. Kontinuitas pelayanan listrik ke beban dapat terhenti apabila gangguan hubung singkat tersebut sampai mengakibatkan *circuit breaker* (CB) bekerja sehingga terjadi pemadaman listrik.

Sebagian besar gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri. Gangguan tak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah dan gangguan dapat diperkecil dengan cara pemeliharaannya.

2.5.3 Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih terjadi apabila ada kelainan dalam sistem. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi antara lain karena :

1. Gangguan petir
2. Gangguan surja hubung, diantaranya adalah penutupan saluran yang tidak serempak pada saat pemutusan tiga fasa, penutupan saluran kembali dengan cepat, pelepasan beban akibat

gangguan, penutupan saluran yang semula tidak masuk ke dalam sistem dan sebagainya.

2.6 Arus Hubung Singkat

Arus yang cukup tinggi akan mengalir dari sumber ke titik gangguan pada saat terjadi saat hubung singkat. Besarnya arus yang mengalir ini dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan reaktansi pada rangkaian yang dilalui arus hubung singkat. Beberapa cycle kemudian arus hubung singkat cenderung menurun dan reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi transien atau *transient reactance* ($X'd$) dan akhirnya kondisinya mencapai steady state dan pada saat ini reaktansinya disebut dengan reaktansi sinkron atau *synchronous reactance* (X_d) [18].

2.6.1 Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah

Hubung singkat ini melibatkan ketiga fasa. Arus hubung singkat tiga fasa (I_{sc3}) didapatkan persamaan berikut :

$$I_{sc3} = \frac{V_{LN}}{Z_1} \quad (2.8)$$

Dimana V_{LN} adalah tegangan nominal *line to netral*, dan Z_1 adalah impedansi urutan positif.

2.6.2 Hubung Singkat Antar Fasa

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Arus hubung singkat antar fasa (I_{sc2}) didapatkan persamaan berikut :

$$I_{sc2} = \frac{V_{LL}}{Z_1 + Z_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3} \approx 0.86 I_{sc3} \quad (2.9)$$

Dimana,

V_{LL} = tegangan *line to line*

Z_1 = impedansi urutan positif

Z_2 = impedansi urutan negatif

2.6.3 Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Hubung singkat ini terjadi karena terdapat dua konduktor fas yang terhubung dengan tanah. Arus hubung singkat dua fasa ke tanah didapatkan persamaan berikut :

$$I_{sc1} = \frac{V_{LN}}{Z_1 + (Z_2 Z_0 / Z_2 + Z_0)} \quad (2.10)$$

Dimana Z_1 adalah impedansi urutan positif sedangkan Z_2 dan Z_3 adalah impedansi urutan negatif dan impedansi urutan nol.

2.6.4 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol (Z_0), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Arus hubung singkat satu fasa ke tanah (I_{sc0}) didapatkan persamaan berikut :

$$I_{sc0} = \frac{3V_{LN}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.11)$$

Dimana,

Z_1 = impedansi urutan positif

Z_2 = impedansi urutan negatif

Z_0 = impedansi urutan nol

2.7 Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Dalam mengatasi bahaya dari berbagai macam gangguan-gangguan pada sistem tenaga listrik, maka diperlukan rele pengaman. Sistem tersebut harus dirancang dengan baik agar kontinuitas terjaga, handal dan ekonomis.

Oleh karena itu dalam pengoperasiannya peralatan rele pengaman sistem tenaga listrik harus memenuhi syarat-syarat berikut [4] :

- Selektifitas, yaitu kemampuan rele pengaman mendeteksi dan memerintahkan *circuit breaker* untuk trip dan mengisolasi bagian yang terganggu saja.
- Stabilitas, yaitu kemampuan rele pengaman untuk menjaga suplai pada bagian yang tidak mengalami gangguan.
- Sensitifitas, yaitu kemampuan rele pengaman ntuk mendeteksi gangguan yang paling kecil sekalipun dan beroperasi dengan benar sesuai dengan setelannya sebelum gangguan yang terjadi dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan.

- Kecepatan, yaitu kecepatan bereaksi rele pengaman memberi sinyal kepada pemutus tenaga (PMT) agar dapat beroperasi secepat mungkin saat terjadi gangguan sehingga keamanan sistem terjaga.

Keandalan, rele dapat dikatakan handal Keandalan dapat dihitung dari jumlah rele yang bekerja untuk mengamankan gangguan berbanding jumlah gangguan yang terjadi.



Gambar 2.3 Skema Konsep Kerja Rele Pengaman

2.8 *Over Current Relay (OCR)*

Rele arus lebih adalah rele yang beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut [17]:

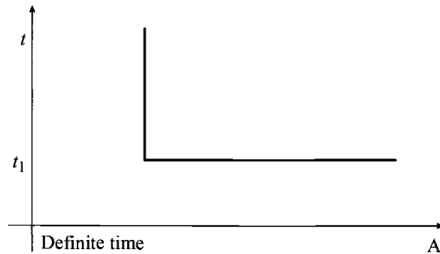
$$\begin{array}{ll}
 I_f > I_p \text{ rele bekerja} & (\text{trip}) \\
 I_f < I_p \text{ tidak bekerja} & (\text{blok})
 \end{array}$$

Dimana I_p merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut belitan sekunder *current transformer* (CT). Bila suatu gangguan terjadi didalam daerah perlindungan rele, besarnya arus gangguan I_f yang juga dinyatakan terhadap belitan sekunder CT.

2.8.1 Karakteristik Rele Arus Lebih

2.8.1.1 *Definite Time*

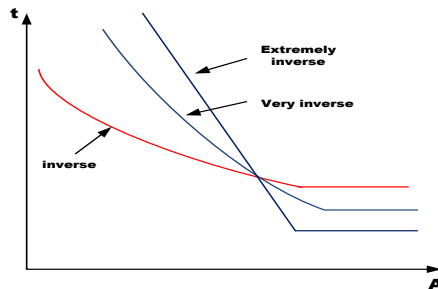
Rele arus lebih ini dapat diatur waktu operasi yang bervariasi berdasarkan *level* arus yang berbeda. Sehingga dengan menggunakan rele arus lebih ini gangguan yang paling dekat dapat diputus dengan cepat sesuai dengan *time delay* yang *disetting*. Semua *level* arus yang melebihi *pickup setpoint*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*) [3]. Gambar 2.4 menunjukkan karakteristik rele arus lebih waktu tertentu.



Gambar 2.4 Karakteristik Rele Arus Waktu Tertentu (*Definite Time*)

2.8.1.2 *Inverse Time*

Waktu operasi yang dimiliki rele arus lebih waktu *inverse* berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan [13]. Karakteristik kerja rele arus lebih waktu *inverse* digambarkan dalam kurva arus-waktu atau disebut juga *time current curve* (TCC). TCC adalah kurva dengan skala dalam *time dial*. Semakin besar *time dial*, semakin lama waktu operasi dari rele tersebut. Karakteristik *inverse* ini dijelaskan dalam standar IEC 60255-3 dan BS 142. Standar-standar ini mendefinisikan beberapa jenis perlindungan waktu *inverse* yang dibedakan oleh gradien kurvanya, yaitu *standart inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse* [15].

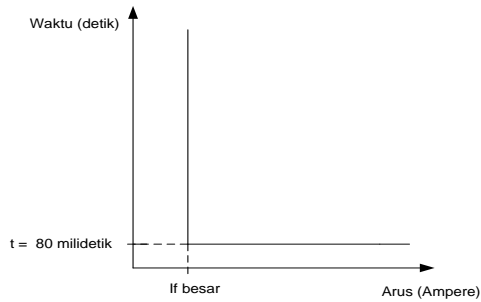


Gambar 2.5 Karakteristik *Standart Inverse*, *Very Inverse* Dan *Extremely Invers*

2.8.1.3 *Instantaneous Time*

Prinsip kerja jenis rele ini adalah tanpa penundaan waktu, tetapi masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 0.1detik, pada umumnya

kurang dari 0.08 detik[15]. Gambar 2.6 terlihat kurva dari rele arus lebih instan.



Gambar 2.6 Karakteristik Rele Arus Lebih Instan

Rele dengan karakteristik ini bekerja sesuai dengan besarnya arus gangguan yang dipilih. Dalam setting koordinasi proteksi pada sistem distribusi tegangan menengah disebut dengan setting moment/instant.

2.8.2 Penyetelan Rele Arus Lebih

2.8.2.1 Setting Rele Arus Lebih Waktu Inverse

Batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak bekerja pada saat beban maksimum. Oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. *Rele* arus lebih memiliki setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Pada rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*[16].

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \quad (2.12)$$

I_{set} adalah arus *pickup* dalam Ampere, berdasarkan standar IEC 60255-3 dan BS 142 batas *setting* adalah 1.05 – 1.3 I_{set} .

Setelan *time dial* menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut [18]:

$$td = \frac{K \times t}{\left[\left(\frac{1}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]} \quad (2.13)$$

dimana,

t = waktu operasi (detik)
 T_d = *time dial*
 I = nilai arus (Ampere)
 I_{set} = arus *pickup* (Ampere)
 K = koefisien invers 1 (Tabel 2.4)
 α = koefisien invers 2 (Tabel 2.4)

Tabel 2.4 Koefisien *Inverse Time Dial*

Tipe Kurva	Koefisien	
	k	α
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00

2.8.2.2 Setting Rele Arus Lebih Instan

Rele arus lebih instan akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan $I_{sc \min}$ yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0.8 I_{sc \min} \quad (2.14)$$

Untuk pertimbangan khusus pada pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh trafo, maka koordinasi pengaman dibedakan menjadi dua bagian yaitu bagian *low voltage* (LV) dan bagian *high voltage* (HV).

Dimana $I_{sc \max \text{ bus B}}$ merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum di titik B, sedangkan $0.8 I_{sc \min \text{ bus A}}$ merupakan arus hubung singkat minimum pada titik A.

2.8.2.3 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Untuk mencapai selektifitas yang diinginkan, dibutuhkan koordinasi rele dengan melihat kurva karakteristik arus terhadap waktu. Dalam karakteristik arus terhadap waktu, semua peralatan proteksi harus

dikoordinasikan satu sama lain. Peralatan proteksi terdekat dengan gangguan harus beroperasi terlebih dahulu. Jika peralatan ini gagal beroperasi, maka peralatan proteksi berikutnya yang harus bekerja memutuskan rangkaian. Pengaturan arus dan waktu rele dalam *single line diagram* kelistrikan, harus dimulai dari beban terakhir atau terbawah dan kembali ke atas menuju generator ataupun *utility*. Setelan arus harus diatas arus maksimum beban penuh dan pastikan peralatan proteksi beroperasi pada arus hubung singkat minimum.

Ketika menge-plot kurva arus – waktu, pastikan rele bekerja secara selektif dengan cara melihat bahwa tidak adanya titik yang *overlap* antara kurva rele yang satu dengan rele yang lain dan interval waktu yang tidak terlalu lama atau terlalu cepat.

Perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele *backup* adalah 0.2 – 0.35 detik.

Waktu buka CB	: 0.04 – 0.1s (2 s/d 5 cycle)
<i>Overtravel</i> dari rele	: 0.1s
Faktor keamanan	: 0.12 – 0.22s

Untuk rele berbasis *microprocessor* *Overtravel time* dari rele diabaikan, sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0.2 – 0.4s

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III

SISTEM KELISTRIKAN DI PT. ASAHIMAS FLAT GLASS TBK. SIDOARJO

3.1 Distribusi Tenaga Listrik PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo

Jaringan distribusi tenaga listrik yang digunakan di PT. Asahimas *Flat Glass* Tbk. Sidoarjo adalah sistem radial. Secara umum jaringan distribusi radial sering digunakan didalam industri karena memiliki beberapa keuntungan, yaitu:

- Lebih mudah dalam memperkirakan dan mengontrol aliran daya
- Mudah dalam perancangan sistem proteksi
- Biaya relatif lebih murah
- Arus gangguan yang mengalir biasanya lebih kecil
- Mudah dalam pengaturan tegangan

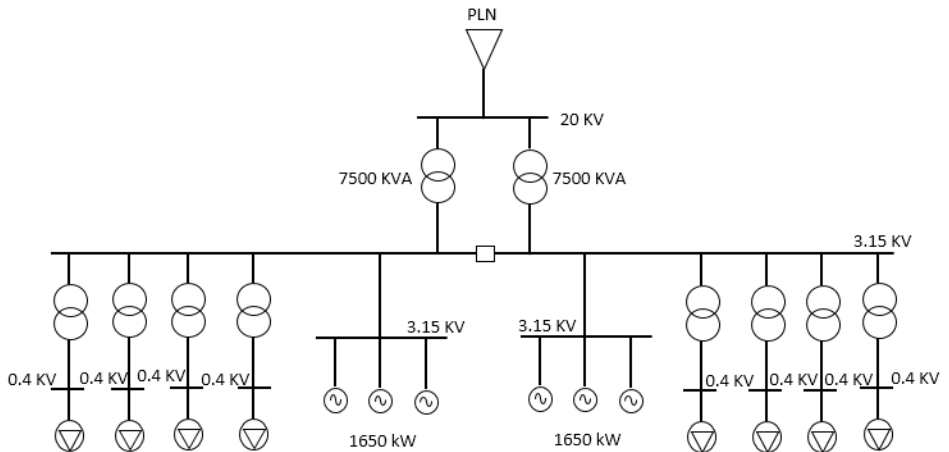
Untuk menentukan jenis distribusi jaringan biasanya ditentukan dengan kebutuhan pabrik itu sendiri. Pada umumnya biaya suatu sistem akan semakin meningkat seiring dengan keandalan suatu sistem yang didukung komponen dengan kualitas yang baik.

3.2 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo

Sistem kelistrikan PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo disuplai dari PLN dan sebagai back up menggunakan 7 buah generator. Berikut adalah kapasitas dari masing-masing suplai listrik di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo:

- Sumber dari gardu induk PLN 50 MVA
- Sumber dari gas engine generator 1250 kVA(1 buah)
- Sumber dari diesel engine generator 1650 kVA(6 buah)

Pada PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo sistem distribusi tegangan menengah yang digunakan adalah tegangan 20 kV untuk suplai energi listrik. Sedangkan beban besar terkoneksi pada tegangan 3.15 kV.



Gambar 3.1 Single Line Diagram PT. Asahimas Flat Glass Tbk, Sidoarjo

3.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo

Untuk merancang suatu sistem distribusi tenaga listrik yang baik dan memenuhi standar keandalan yang ada maka diperlukan pertimbangan dan perhitungan yang matang. Secara umum sistem distribusi tenaga listrik di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo menggunakan sumber dari PLN, sedangkan untuk backup menggunakan diesel generator dan gas generator. Tegangan dari gardu induk PLN adalah 20 kV, kemudian diturunkan menggunakan trafo daya menjadi 3.15 kV. Keluaran dari trafo dihubungkan ke bus 3.15 kV yang akan didistribusikan ke beban menengah. Dari tegangan 3.15 kV diturunkan lagi menjadi 0.4 kV kemudian didistribusikan keseluruhan beban. Distribusi ini didukung oleh trafo daya untuk menyuplai beban dengan rating tegangan dan daya tertentu.

Tabel 3.1 Trafo Daya pada PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo.

No.	ID Trafo	Tegangan (kV)	Kapasitas (kVA)	Terhubung pada Bus
1.	Trafo1	20/3.15	7500	Bus_PLN
2.	Trafo2	20/3.15	7500	Bus_PLN
3.	Trafo_1.1	3.15/0.4	750	Bus_1.1
4.	Trafo_1.2	3.15/0.4	500	Bus_1.2
5.	Trafo_1.3	3.15/0.4	500	Bus_1.3
6.	Trafo_2.1	3.15/0.4	1500	Bus_2.1
7.	Trafo_2.2	3.15/0.4	1500	Bus_2.2
8.	Trafo_3.1	3.15/0.4	750	Bus_3.1
9.	Trafo_3.5	3.15/0.4	750	Bus_3.5
10.	Trafo_4.1	3.15/0.4	1500	Bus_4.1
11.	Trafo_5.2	3.15/0.4	750	Bus_5.2
12.	Trafo_5.4	3.15/0.4	1500	Bus_5.4
13.	Trafo_5.5	3.15/0.4	1500	Bus_5.5
14.	Trafo_6.2	3.15/0.4	1000	Bus_6.2
15.	Trafo_6.5	3.15/0.4	300	Bus_6.5
16.	Trafo_6.6	3.15/0.4	300	Bus_6.6
17.	Trafo_7.1	3.15/0.4	1500	Bus_7.1
18.	Trafo_7.2	3.15/0.4	1500	Bus_7.2
19.	Trafo_8.1	3.15/0.4	1500	Bus_8.1
20.	Trafo_8.2	3.15/0.4	1500	Bus_8.2
21.	Trafo_8.3	3.15/0.4	1500	Bus_8.3

Berikut ini beberapa substation yang terdapat pada PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo:

1. Packing S/S (Bus_Packing_S/S)
2. A2 Substation#2 S/S (Bus_Substation#2_S/S)
3. Utility S/S (Bus_Utility_S/S)
4. Batch House S/S (Bus_Batch_House_S/S)
5. Diesel Generator Substation 1 (Bus_S1)
6. Diesel Generator Substation 2 (Bus_S2)
7. Melting S/S (Bus_Melting_S/S)
8. Station Service S/S (Bus_Station_Service_S/S)
9. A2 Substation#1 S/S (Bus_Substation#1_S/S)
10. Bath Heater S/S (Bus_Bath_Heater_S/S)

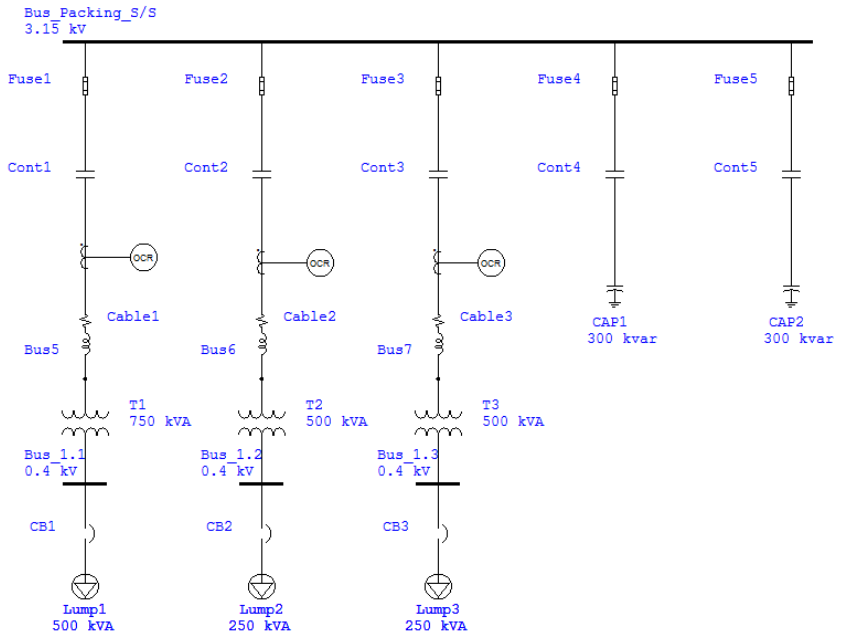
3.3.1 Packing S/S

Pada substation Packing S/S ini terdapat 1 bus 3.15 kV (Bus_Packing_S/S) dan 3 bus 0.4 kV (Bus_1.1, Bus_1.2, Bus_1.3)

Untuk menurunkan tegangan pada Bus_1.1, Bus_1.2, Bus_1.3 digunakan transformator daya seperti pada tabel 3.1. Padategangan 0.4 kV terdapat beban-beban yang terdiri dari beban Lump (campuran Antara beban motor dan beban statis). Pada analisis ini beban-beban yang terdapat pada bus tegangan rendah 0.4 kV dapat dianggap sebagai beban Lump. List beban Lump pada Packing S/S ditunjukkan pada tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 List Beban Lump pada Packing S/S

No.	ID Lump	Tegangan (kV)	Terhubung pada Bus	Daya (kVA)
1.	Lump_1.1	0.4	Bus_1.1	500
2.	Lump_1.2	0.4	Bus_1.2	250
3.	Lump_1.3	0.4	Bus_1.3	250



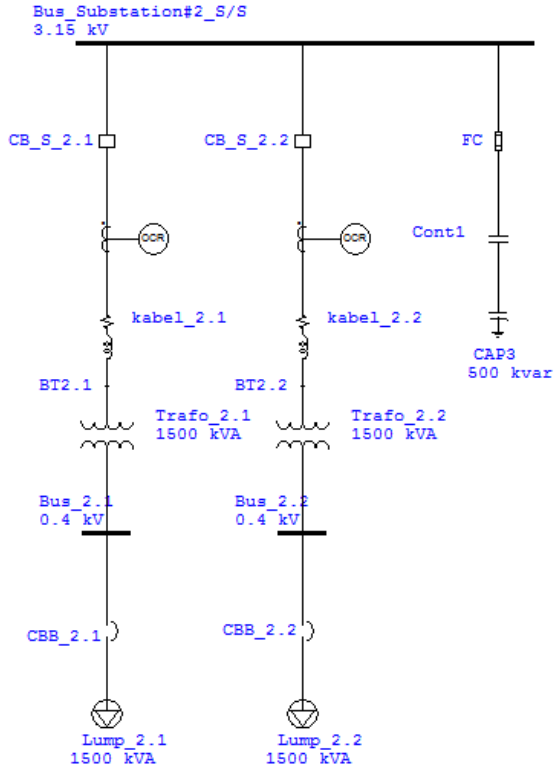
Gambar 3.2 *Single Line Diagram Composite Network Packing S/S*

3.3.2 A2 Substation#2 S/S

Pada Substation#2 S/S terdapat 1 bus dengan tegangan 3.15 kV (Bus_Subsatation#2_S/S) dan 2 bus 0.4 kV (Bus_2.1, Bus_2.2).

Tabel 3.3. List Beban Lump pada A2 Substation#2 S/S

No.	ID Lump	Tegangan (kV)	Terhubung pada Bus	Daya (kVA)
1.	Lump_2.1	0.4	Bus_2.1	500
2.	Lump_2.2	0.4	Bus_2.2	500



Gambar 3.3 A2 Substation#2 S/S

3.3.3 Utility S/S

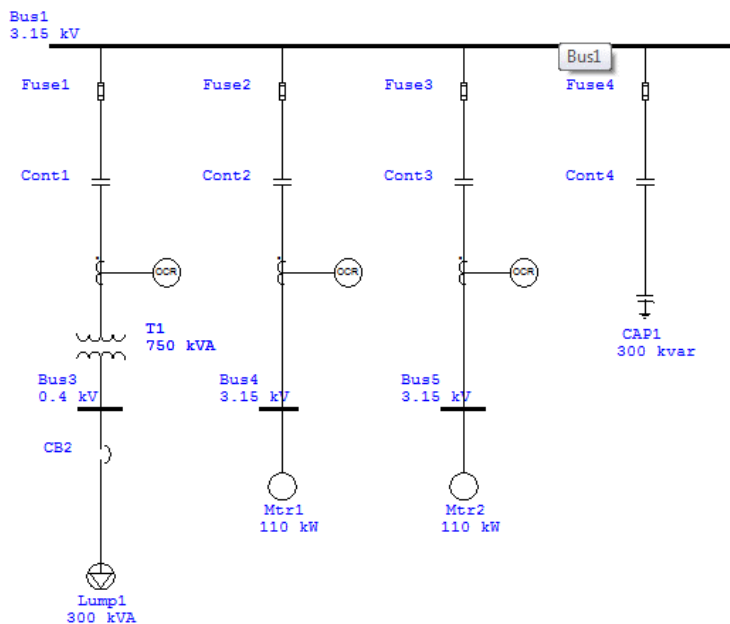
Pada substation Utility S/S terdapat 4 bus dengan tegangan 3.15 kV (Bus_Utility_S/S, Bus_3.2, Bus_3.3, Bus_3.6) dan 3 bus dengan tegangan 0.4 kV (Bus_3.1, Bus_3.4, Bus_3.5).

Tabel 3.4 List Motor Induksi pada Utiliti S/S

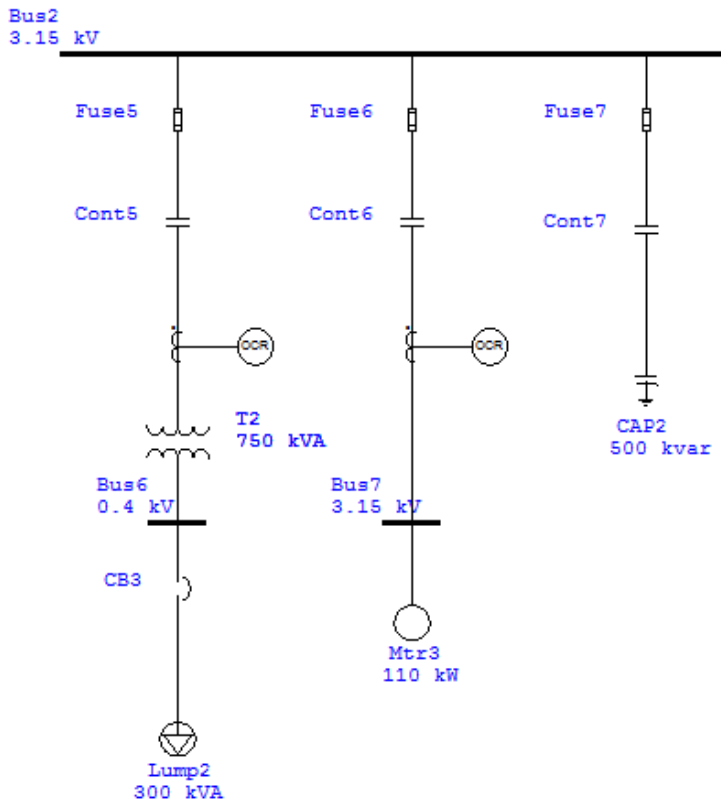
No.	ID Motor	Tegangan (kV)	Terhubung pada Bus	Daya (kW)
1.	Mtr_3.2	3.15	Bus_3.2	110
2.	Mtr_3.3	3.15	Bus_3.3	110
3.	Mtr_3.5	3.15	Bus_3.5	110

Tabel 3.5 List Beban Lump pada Utility S/S

No.	ID Lump	Tegangan (kV)	Terhubung pada bus	Daya (kVA)
1.	Lump_3.1	0.4	Bus_3.1	300
2.	Lump_3.4	0.4	Bus_3.4	300



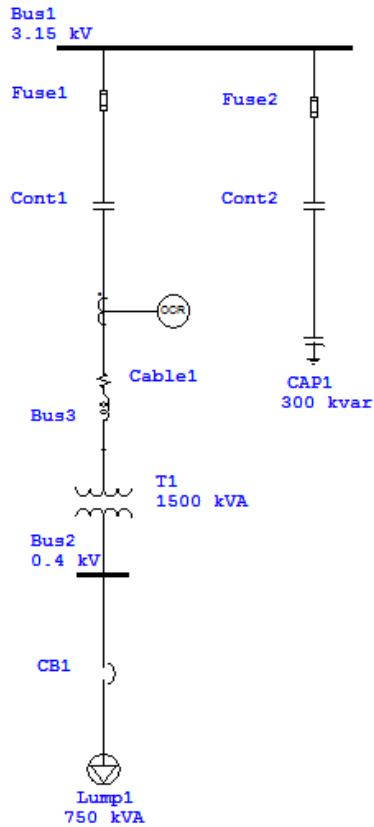
Gambar 3.4 Single Line Diagram Composite Network Utility S/S 1.



Gambar 3.5 *Single Line Diagram Composite Network Utility S/S 2.*

3.3.4 Batch House S/S

Pada substation Batch House S/S terdapat 1 bus dengan tegangan 3.15 kV (Bus_Batch_House_S/S) dan 1 bus dengan tegangan 0.4 kV (Bus_4.1).



Gambar 3.6 Single Line Diagram Composite Network Batch House S/S.

Berikut ini merupakan list beban Lump yang terdapat pada substation Batch House S/S.

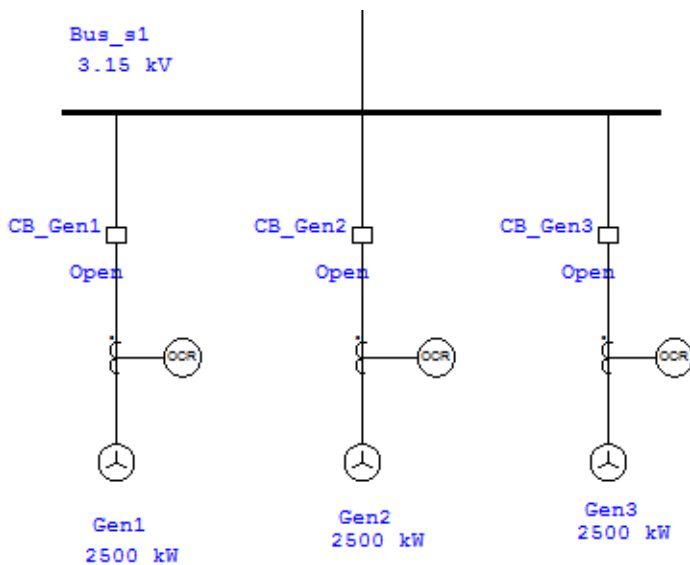
Tabel 3.6 List Beban Lump pada Bus Batch House S/S

No.	ID Lump	Tegangan (kV)	Terhubung pada Bus	Daya (kVA)
1.	Lump_4.1	0.4	Bus_4.1	750

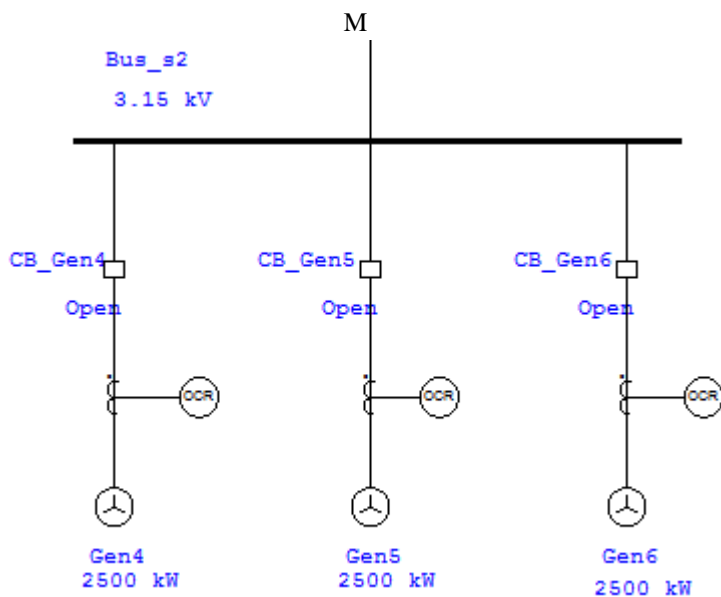
3.3.5 Diesel Generator Substation

Pada Substation Diesel Generator ini terdapat 4 bus dengan tegangan 3.15 kV (Bus_TS1, Bus_TS2, Bus_S1 dan Bus_S2).

Terdapat 6 diesel generator pada substation ini dengan masing-masing kapasitas 2500 kW. Diesel generator ini adalah sebagai backup jika suplai daya dari PLN terhenti.



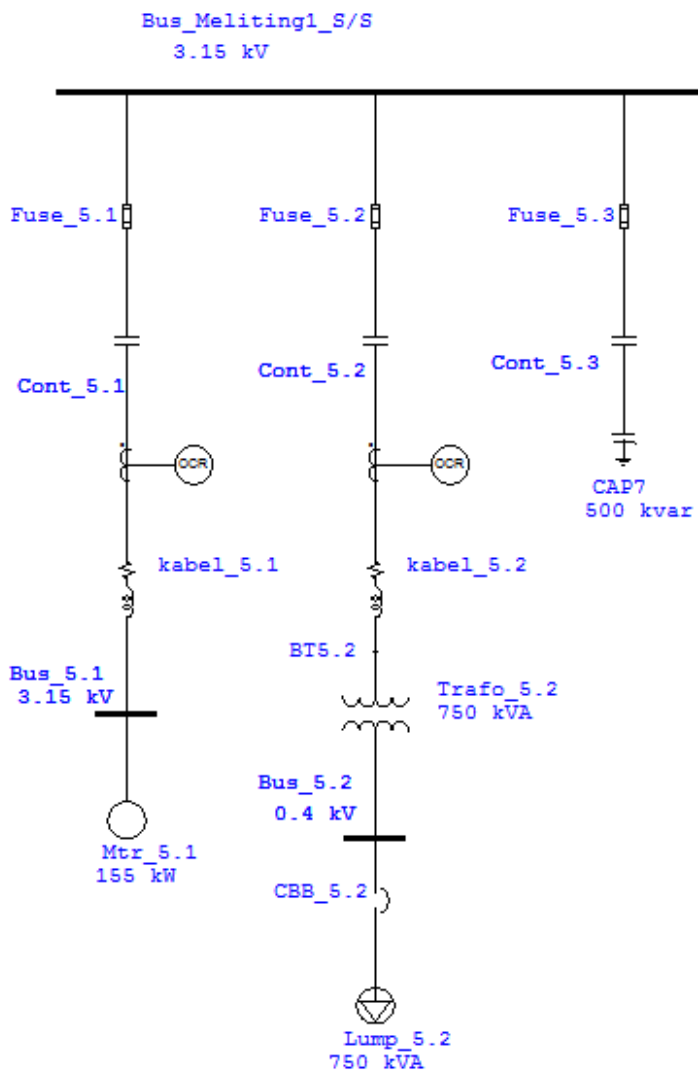
Gambar 3.7 Diesel Generator Substation 1.



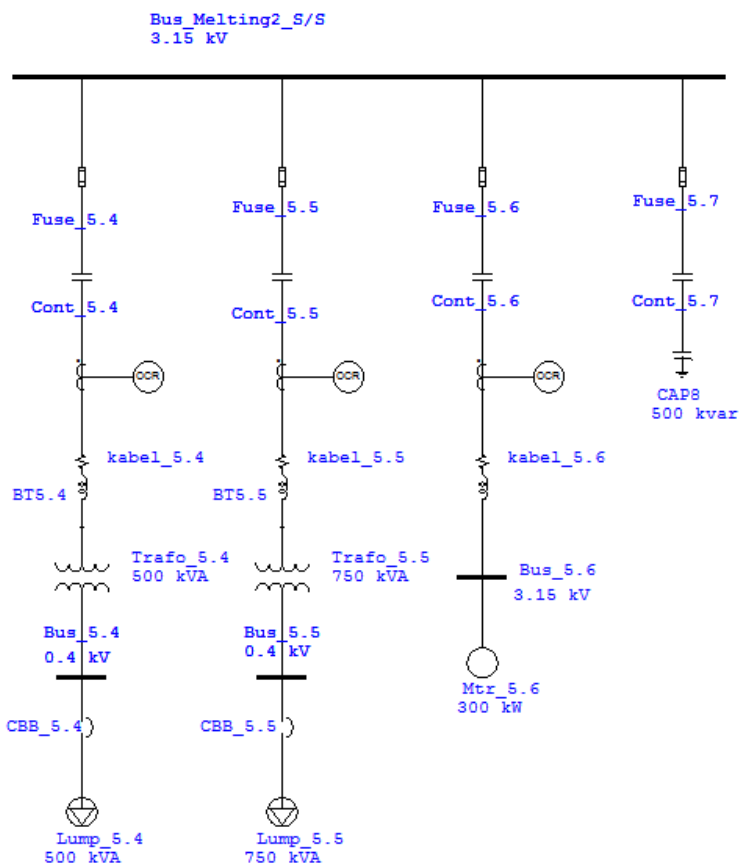
Gambar 3.8 Diesel Generator Substation 2.

3.3.6 Melting S/S

Pada Substation Melting S/S terdapat 2 bus dengan tegangan 3.15 kV (Bus_5.1 dan Bus_5.6) dan 3 bus dengan tegangan 0.4 kV (Bus_5.2, Bus_5.4, Bus_5.5).



Gambar 3.9 Single Line Diagram Composite Network Melting S/S 1



Gambar 3.10 Single Line Diagram Composite Network Melting S/S 2

Berikut ini merupakan list beban motor induksi dan beban lump pada substation Melting S/S:

Tabel 3.7 List Beban Motor Induksi pada Substation Melting S/S.

No.	ID Motor	Tegangan (kV)	Terhubung pada Bus	Daya (kW)
1.	Mtr_5.1	3.15	Bus_5.1	155
2.	Mtr_5.6	3.15	Bus_5.6	155

Tabel 3.8 List Beban Lump pada Substation Melting S/S.

No.	ID Lump	Tegangan (kV)	Terhubung pada Bus	Daya (kVA)
1.	Lump_5.2	0.4	Bus_5.2	300
2.	Lump_5.4	0.4	Bus_5.4	500
3.	Lump_5.5	0.4	Bus_5.5	500

3.3.7 Station Service S/S

Pada substation Station Service S/S terdapat 4 bus dengan tegangan 3.15 kV (Bus_6.3, Bus_6.4, Bus_6.7, Bus_6.8) dan 3 bus dengan tegangan 0.4 kV (Bus_6.2, Bus_6.5, Bus_6.6)

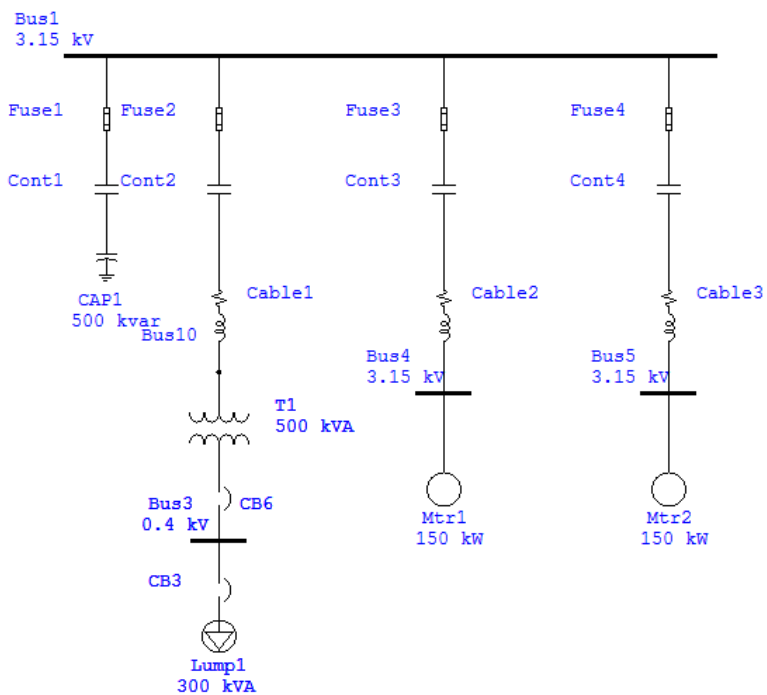
Berikut ini merupakan list beban motor induksi dan list beban lump pada substation Station Service S/S:

Tabel 3.9 List Beban Motor Induksi pada Station Service S/S

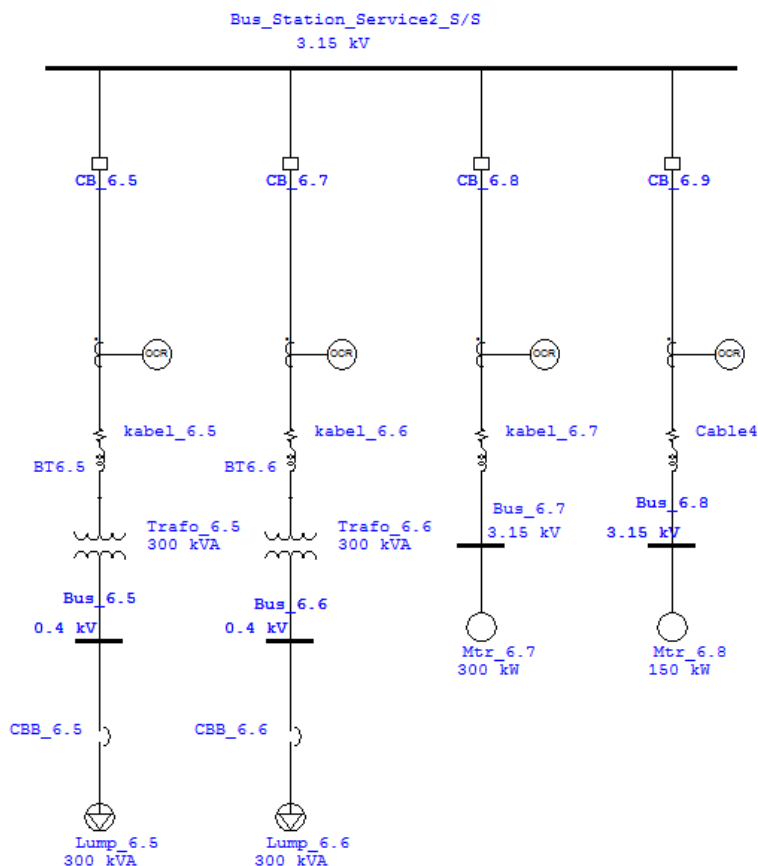
No.	ID Motor	Tegangan (kV)	Terhubung pada Bus	Daya (kW)
1.	Mtr_6.3	3.15	Bus_6.3	150
2.	Mtr_6.4	3.15	Bus_6.4	150
3.	Mtr_6.7	3.15	Bus_6.7	150
4.	Mtr_6.8	3.15	Bus_6.8	150

Tabel 3.10 List Beban Lump pada Station Service S/S

No.	ID Lump	Tegangan (kV)	Terhubung pada Bus	Daya (kVA)
1.	Lump_6.2	0.4	Bus_6.2	300
2.	Lump_6.5	0.4	Bus_6.5	300
3.	Lump_6.6	0.4	Bus_6.6	300



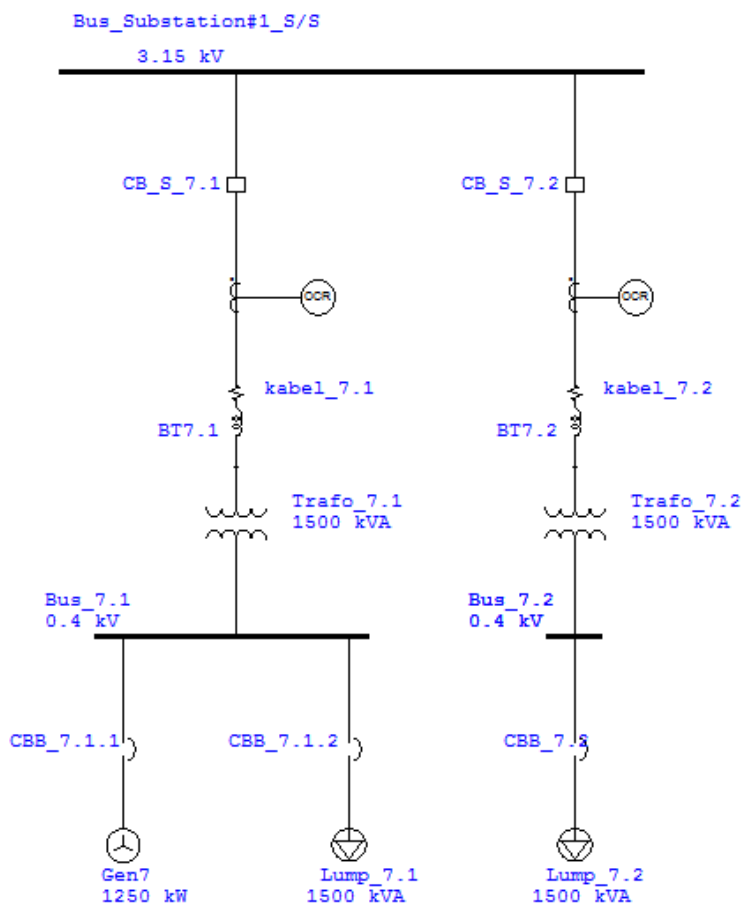
Gambar 3.11 *Single Line Diagram Composite Network Station Service S/S 1.*



Gambar 3.12 *Single Line Diagram Composite Network Station Service S/S 2.*

3.3.8 A2 Substation#1 S/S

Pada substation A2 Substation#1 S/S terdapat bus dengan tegangan 3.15 kV (Bus_Substation#1_S/S) dan 2 bus dengan tegangan 0.4 kV (Bus_7.1 dan Bus_7.2).



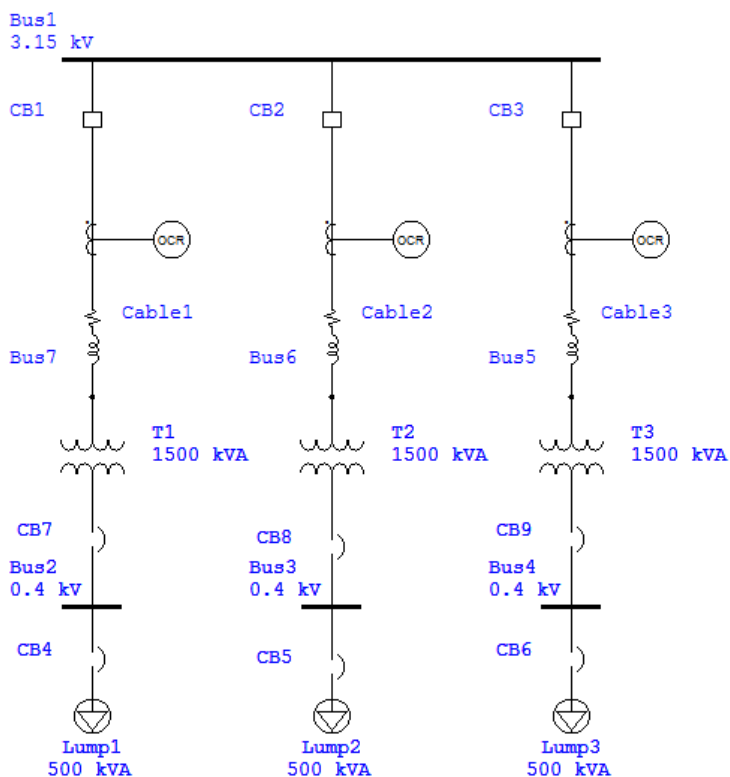
Gambar 3.13 Single Line Diagram Composite Network A2 Substation#1 S/S.

Tabel 3.11 List Beban Lump pada Substation A2 Substation#1 S/S.

No.	ID Lump	Tegangan (kV)	Terhubung pada Bus	Daya (kVA)
1.	Lump_7.1	0.4	Bus_7.1	1500
2.	Lump_7.2	0.4	Bus_7.2	1500

3.3.9 Bath Heater S/S

Pada Substation Bath Heater S/S terdapat 1 bus dengan tegangan 3.15 kV (Bus_Bath_Heater_S/S) dan 3 bus dengan tegangan 0.4 kV (Bus_8.1, Bus_8.2, Bus_8.3).



Gambar 3.14 Single Line Diagram Composite Network Bath Heater S/S.

Tabel 3.12 List Beban Lump pada Substation Bath Heater S/S.

No.	ID Lump	Tegangan (kV)	Terhubung pada Bus	Daya (kVA)
1.	Lump_8.1	0.4	Bus_8.1	500
2.	Lump_8.2	0.4	Bus_8.2	500
3.	Lump_8.3	0.4	Bus_8.3	500

3.4 Sistem Proteksi di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo

Peralatan proteksi berfungsi untuk melindungi peralatan, operator dan benda yang ada disekitarnya terhadap gangguan atau keadaan tidak normal pada sistem tenaga listrik dengan membebaskan bagian yang tidak bekerja secara normal dengan cepat dan tepat. Selain itu juga berfungsi untuk membatasi daerah yang terkena gangguan sehingga keandalan suatu sistem tenaga listrik tetap terjamin. Dengan peralatan proteksi gangguan yang timbul pada suatu sistem tenaga listrik dapat diminimalkan dan dapat dideteksi sehingga kemungkinan terjadi kerusakan akan lebih kecil. Peralatan proteksi yang dipilih harus benar-benar selektif, sensitif dan cepat terhadap gangguan. Selain proteksi utama terdapat juga pengaman cadangan untuk menjaga kemungkinan bila salah satu proteksi tidak bekerja. Peralatan proteksi yang terdapat pada sistem tenaga listrik di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo antara lain:

1. Peralatan proteksi pada Generator
2. Peralatan proteksi pada Transformator
3. Peralatan proteksi pada Bus
4. Peralatan proteksi pada Motor

3.4.1 Peralatan Proteksi Generator

Peralatan proteksi pada generator berfungsi untuk mencegah terjadinya kerusakan pada stator dan rotor []. Rele-rele yang digunakan antara lain; *Differential generator* (87G), *loss of field* (40G), *negative phase sequence* (46G), *ground overvoltage* (64G), *voltage balance* (60G), *over excitation* (V/F), *reserve power* (32R), *under/over frequency* (81L/H) dan *under voltage rele* (27).

3.4.2 Peralatan Proteksi Transformator

Peralatan pada transformator berfungsi untuk mencegah terjadinya kerusakan pada kumparan primer dan kumparan sekunder dari adanya gangguan hubung singkat.

Saat terjadi gangguan kondisi beban lebih atau hubung singkat dari luar, maka arus gangguan akan mengalir melalui sisi primer ke sisi sekunder trafo menuju titik gangguan. Bila gangguan ini berlangsung relatif cukup lama, maka keadaan ini dapat membahayakan trafo akibat tekanan thermis. Pengamanan transformator ini dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu pengamanan diluar transformator dan pengamanan gangguan didalam transformator. Rele pengamanan transformator yang digunakan pada PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo antara lain; *overcurrent relay*, *percentage differential relay*, *ground fault relay*, *under voltage* dan *differential relay*. Dalam hal ini rele arus lebih digunakan untuk melindungi trafo terhadap arus hubung singkat maupun gangguan beban lebih, dimana operasi dari rele-rele tersebut dikoordinasikan dengan rele-rele yang lain.

3.5 Peralatan Pengaman Arus Lebih

Pada tugas akhir ini tidak semua rele dianalisis, pembahasan dibatasi hanya pada rele arus lebih (*overcurrent relay*). Dari uraian diatas dapat diketahui bahwa rele arus lebih yang digunakan di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo adalah Merlin Gerin Sepam 1000 dan Siemens ETU25B. Dimana peralatan pengamanan arus lebih tersebut memiliki fasilitas serta kelengkapan yang berbeda.

BAB IV

Hasil Simulasi dan Analisis

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengurangan insiden energi *arc flash* sistem tegangan 0.4 kV dan 3.15 kV di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo. Proses pengurangan insiden energi ini dilakukan dengan melakukan *resetting* sistem proteksi yang telah ada. Setelah didapatkan kondisi *resetting* dan koordinasi pengaman yang benar, selanjutnya dihitung dan disimulasikan untuk mendapatkan nilai insiden energi *arc flash* yang sesuai standart sehingga lebih aman. Jika nilai insiden energi *arc flash* yang didapatkan melebihi standart yang ada maka untuk mengurangi nilai insiden energinya dengan mengurangi waktu trip pada rele. Untuk mempermudah melakukan analisis, sistem kelistrikan akan dimodelkan dalam *Single Line Diagram* menggunakan software simulasi.

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan

Pemodelan sistem kelistrikan PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo dilakukan dengan cara membuat *single line diagram* dengan menggunakan software simulasi. Dalam membuat *single line diagram* dibutuhkan beberapa data peralatan, yaitu data kabel, trafo, generator, motor, bus, rele dan lainnya.

Setelah memodelkan sistem dengan membuat *single line diagram* sistem kelistrikan PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo dapat diketahui sistem kelistrikan *existing*. Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis aliran daya (*load flow*) untuk mengetahui kondisi sistem telah dalam kondisi *steady state*, sehingga dari analisis tersebut dapat diketahui tegangan bus, pembebanan trafo, pembebanan bus, rugi-rugi daya dan faktor daya pada tiap *feeder*.

4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi Setting Rele Pengaman pada PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo

Dalam setting rele pengaman untuk mempermudah *setting* koordinasi rele pengaman, maka dipilih beberapa tipikal dari masing-masing *plant* utama PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo, yaitu :

1. Tipikal 1 : Koordinasi mulai Bus_2.1 0.4 kV hingga Bus_TS1 3.15 kV (CBB_2.1, CBB2, Rele OCR CB_S_2.1, Rele OCR CB2, Rele OCR CBTS1.1).
2. Tipikal 2 : Koordinasi mulai Bus_6.2 0.4 kV hingga Bus_TS2 3.15 kV (CBB_6.2, CBB6, Rele OCR CB_6.2, Rele OCR CB6, Rele OCR CBTS1.2).

3. Tipikal 3 : Koordinasi mulai Bus_8.1 0.4 kV hingga Bus_TS2 3.15 kV (CBB_8.1, CBB8, Rele OCR CB_8.1, Rele OCR CB8)

4.3 Analisa Hubung Singkat

Langkah pertama perhitungan arus hubung singkat adalah dengan menghitung nilai impedansi yang terdapat pada sistem kelistrikan yang mengalami gangguan hubung singkat. Untuk itu diperlukan data-data sebagai berikut :

1. Sumber PLN yang terhubung ke sistem.
2. Transformator daya.
3. Kabel.
4. *Single Line Diagram*.
5. Beban.

Untuk analisa perhitungan digunakan 2 konfigurasi yang mewakili hubung singkat minimum dan maksimum, yaitu :

1. Hubung singkat maksimum : Sistem disuplai oleh *feeder* PLN 50 MVA.
2. Hubung singkat minimum : Sistem disuplai oleh 6 buah *diesel engine generator* 1650 kVA dan 1 buah *gas engine generator* 1250 kVA.

Untuk menghitung arus hubung singkat digunakan software simulasi. Hubung singkat minimum adalah hubung singkat 2 fasa pada 30 *cycle*. Sedangkan hubung singkat maksimum adalah hubung singkat 3 fasa pada 4 *cycle*. Pada table 4.1 sampai 4.3 didapatkan hasil simulasi dengan tipikalnya masing-masing.

Tabel 4.1 Data Hubung Singkat Bus pada Tipikal 1.

No.	Bus ID	Tegangan (kV)	Isc Max (kA)	Isc Min (kA)	
			4 cycle (3 ϕ)	30 cycle (3 ϕ)	30 cycle (2 ϕ)
1.	Bus_TS1	3.15	8.42	8.45	7.3
2.	Bus_Substation#2 S/S	3.15	8.4	8.39	7.26
3.	Bus_2.1	0.4	24.55	23.45	20.3

Tabel 4.2 Data Hubung Singkat Bus pada Tipikal 2.

No.	Bus ID	Tegangan (kV)	Isc Max (kA)	Isc Min (kA)	
			4 cycle (3 ϕ)	30 cycle (3 ϕ)	30 cycle (2 ϕ)
1.	Bus_TS2	3.15	9.2	8.45	7.3
2.	Bus_Station_Service 1 S/S	3.15	9.1	8.4	7.26
3.	Bus_6.2	0.4	18.8	17.83	9.03

Tabel 4.3 Data Hubung Singkat Bus pada Tipikal 3.

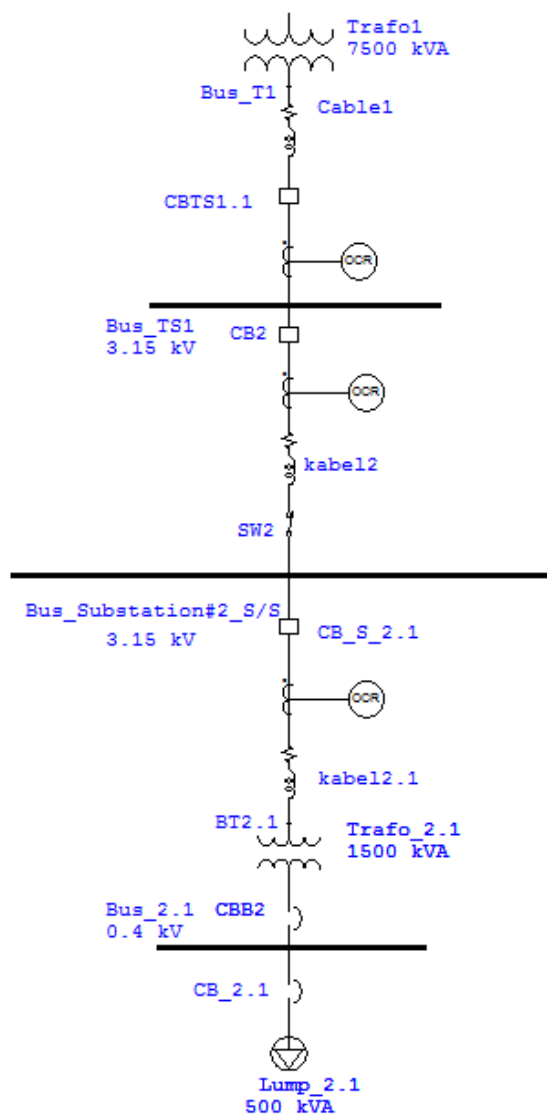
No.	Bus ID	Tegangan (kV)	Isc Max (kA)	Isc Min (kA)	
			4 cycle (3 ϕ)	30 cycle (3 ϕ)	30 cycle (2 ϕ)
1.	Bus_Bath_Heater S/S	3.15	9.15	8.4	7.26
2.	Bus_8.1	3.15	19.5	17.2	20.3

4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa adalah pemilihan pada peralatan pengaman yang memiliki tujuan untuk mengisolasi suatu sistem pada saat terjadi rele gangguan arus lebih fasa saja. Gangguan yang terjadi dapat berupa gangguan beban lebih dan gangguan hubung singkat. Sehingga setelah koordinasi proteksi yang tepat diperlukan untuk menjaga stabilitas dan kontinuitas daya listrik.

a Analisa Tipikal 1

Pada tipikal 1 ini akan dilakukan analisa mengenai sistem proteksi dan *arc flash*. Tipikal 1 terletak pada beban Lump_2.1 sampai Bus_TS1. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.1.



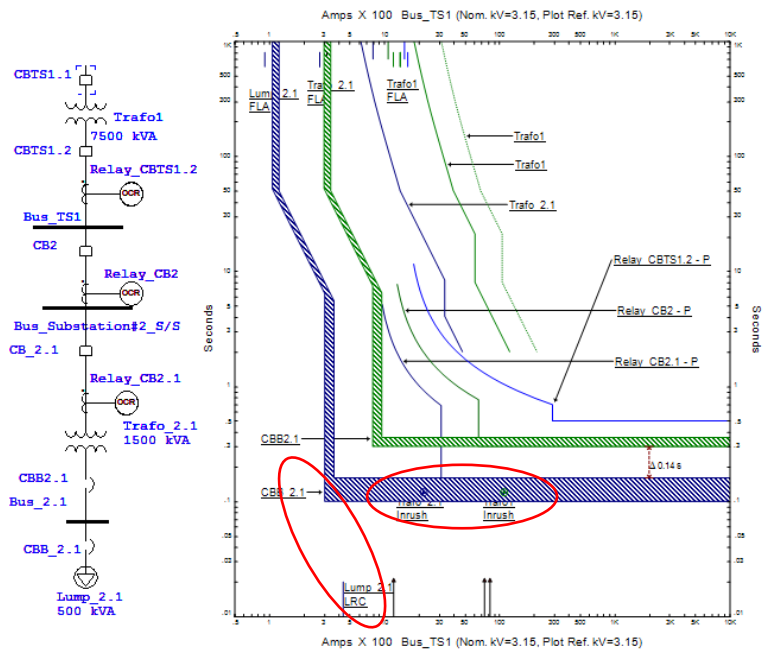
Gambar 4.1 Koordinasi Rele Tipikal 1

Tabel 4.4 Data Setting Rele Eksisting pada Tipikal 1

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>LVCB2.1 Bus 2.1 Siemens ETU25B</i>	<i>I sensor</i>	<i>2500 A</i>
	<i>LT Pick Up</i>	<i>1</i>
	<i>LT Band</i>	<i>2</i>
	<i>ST band</i>	<i>0.1</i>
	<i>ST Pick Up</i>	<i>3</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disable</i>
<i>LVCB2 Bus 2.1 Siemens ETU25B</i>	<i>I sensor</i>	<i>2500 A</i>
	<i>LT Pick Up</i>	<i>0.9</i>
	<i>LT Band</i>	<i>2</i>
	<i>ST band</i>	<i>0.3</i>
	<i>ST Pick Up</i>	<i>2.5</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disable</i>
<i>Relay CB2.1 Merlin Gerin Sepam 1000</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.3-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>2</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0.4 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>10/800</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>1-24</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>7.8</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>39/3120</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.1 s</i>
<i>Relay CB2 Merlin Gerin Sepam 1000</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.3-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>1.8</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0.6 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>9/1080</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>1-24</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>11</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>55/6600</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.3 s</i>

Relay CBTS1.2 Merlin Gerin Sepam 1000	Curve Type	Standard Inverse
	Pick Up Range	0.3-2.4
	Pick Up	1
	CT Ratio	1500/5
	Time Dial	0.9 s
	Instantaneous	
	Pick Up Range	1-24
	Pick Up	19.3
	CT Ratio	96.5/28950
	Time Delay	0.5 s

Pada koordinasi proteksi tipikal 1 terdapat beberapa koordinasi rele pengaman yang masih perlu disempurnakan. Tanda lingkaran merah pada gambar 4.2 menunjukkan kesalahan yang harus diperbaiki.



Gambar 4.2 Kurva Koordinasi Arus Waktu Eksisting Tipikal 1

Setting kurva rele pengamanan arus lebih yang melindungi sisi primer trafo2.1 dan trafo1 mengenai INRUSH trafo. Hal ini mengakibatkan rele arus lebih yang melindungi sisi trafo primer trafo2.1 dan trafo 1 akan bekerja pada saat trafo2.1 dan trafo1 *energized*.

a. CBB_2.1

$$\begin{aligned}
 \text{Manufacturer} &= \text{Siemens} \\
 \text{Model} &= \text{ETU25B} \\
 I_{sc \text{ max 4 cycle 3}\phi \text{ Bus_2.1}} &= 24500 \text{ A} \\
 I_{sc \text{ min 30 cycle 3}\phi \text{ Bus_2.1}} &= 23450 \text{ A} \\
 I_{\text{sensor}} &= 2500 \text{ A} \\
 \text{FLA} &= \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}} = \frac{500}{\sqrt{3} \times 0.4} = 721.68 \text{ A}
 \end{aligned}$$

• Long Time Pick Up

$$\begin{aligned}
 1.05 \times \text{FLA} &\leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min 30 cycle Bus_2.1}} \\
 1.05 \times 721.68 &\leq I_{set} \leq 0.8 \times 23450 \\
 757.7 &\leq I_{set} \leq 18760 \\
 I_{set} &= 2500 \text{ A} \\
 \text{LT Pick Up} &= \frac{I_{set}}{I_{\text{sensor}}} = \frac{2500}{2500} = 1 \\
 \text{LT Band} &= 2
 \end{aligned}$$

• Short Pick Up Setting

$$\begin{aligned}
 I_{set} &\leq 0.8 \times I_{sc \text{ min 30 cycle Bus_2.1}} \\
 I_{set} &\leq 0.8 \times 23450 \\
 I_{set} &\leq 18760 \\
 \text{Dipilih } I_{set} &= 1500 \\
 \text{ST Pick Up} &= \frac{I_{set \text{ ST}}}{I_{set \text{ LT}}} = \frac{1500}{2500} = 0.6 \\
 \text{Dipilih ST Band} &= 0.02 \text{ s} \\
 \text{Instantaneous} &= \text{Disable}
 \end{aligned}$$

b CBB2

$$\begin{aligned}
 \text{Manufacturer} &= \text{Siemens} \\
 \text{Model} &= \text{ETU25B} \\
 I_{sc \text{ max 4 cycle 3}\phi \text{ Bus_2.1}} &= 24500 \text{ A} \\
 I_{sc \text{ min 30 cycle 3}\phi \text{ Bus_2.1}} &= 23450 \text{ A} \\
 I_{\text{sensor}} &= 2500 \text{ A} \\
 \text{FLA} &= \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}} = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 0.4} = 2165.06 \text{ A}
 \end{aligned}$$

- *Long Time Pick Up*

$$1.05 \times \text{FLA} \leq I_{\text{set}} \leq 0.8 \times I_{\text{sc min 30 cycle Bus_2.1}}$$

$$1.05 \times 2165.06 \leq I_{\text{set}} \leq 0.8 \times 23450$$

$$2273.3 \leq I_{\text{set}} \leq 18760$$

$$I_{\text{set}} = 2300 \text{ A}$$

$$\text{LT Pick Up} = \frac{I_{\text{set}}}{I_{\text{sensor}}} = \frac{2300}{2500} = 0.9$$

$$\text{LT Band} = 2$$

- *Short Pick Up Setting*

$$I_{\text{set}} \leq 0.8 \times I_{\text{sc min 30 cycle Bus_2.1}}$$

$$I_{\text{set}} \leq 0.8 \times 23450$$

$$I_{\text{set}} \leq 18760$$

$$\text{Dipilih } I_{\text{set}} = 6250$$

$$\text{ST Pick Up} = \frac{I_{\text{set ST}}}{I_{\text{set LT}}} = \frac{6250}{2500} = 2.5$$

$$\text{Dipilih ST Band} = 0.4 \text{ s}$$

$$\text{Instantaneous} = \text{Disable}$$

c **Rele CB_2.1**

$$\text{Manufacturer} = \text{Merlin Gerin}$$

$$\text{Model} = \text{Sepam 1000}$$

$$\text{Curve Type} = \text{Standard Inverse}$$

$$I_{\text{sc max 4 cycle 3}\phi \text{ Bus_2.1}} = 24550 \text{ A}$$

$$\text{Dikonversi ke 3.15 kV} = \frac{0.4}{3.15} \times 24550 = 3117.5 \text{ A}$$

$$I_{\text{sc min 30 cycle 3}\phi \text{ Bus_Substation\#2}} = 8390 \text{ A}$$

$$\text{FLA} = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 3.15} = 274.94 \text{ A}$$

$$\text{CT Ratio} = 400/5 \text{ A}$$

- *Time Overcurrent Pickup*

$$\frac{1.05 \times \text{FLA}}{\text{CT Ratio}} \leq I_{\text{set}} \leq \frac{0.8 \times I_{\text{sc min 30 cycle 3}\phi \text{ Bus_Substation\#2}}}{\text{CT Ratio}}$$

$$\frac{1.05 \times 274.94}{400/5} \leq I_{\text{set}} \leq \frac{0.8 \times 8390}{400/5}$$

$$3.6 \leq I_{\text{set}} \leq 84$$

$$\text{Dipilih Tap Current Setting} = 10 \text{ A}$$

$$\text{Setting Actual } I_{\text{set}} = 10 \times \frac{400}{5} = 800 \text{ A}$$

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.7 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I_{sc \max 4 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus}_2.1}}{I_{set}}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.7 \times 1.5 \left[\left(\frac{3117.5}{400}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.4 \text{ s}$$

- *Current Setting High Set ($I_{>>}$)*

$$\frac{I_{sc \max \text{ Bus}_2.1}}{\frac{CT \text{ Ratio}}{400/5}} \leq I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \max \text{ Bus_station_service}}}{CT \text{ Ratio}}$$

$$\frac{3127.38}{400/5} \leq I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 83400}{400/5}$$

$$39.09 \leq I_{>>} \leq 83.4$$

Dipilih $I_{>>} = 39$

Nilai actual $I_{>>} = 39 \times 400/5 = 3120 \text{ A}$

Time Delay dipilih 0.1 s

d Relay CB2

Manufacturer = Merlin Gerin

Model = Sepam 1000

Curve Type = *Standard Inverse*

Instantaneous = *Disable*

$I_{sc \max 4 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_Substation\#2}}$ = 8340 A

$I_{sc \min 30 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_Substation\#2}}$ = 8390 A

$$FLA = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{3000}{\sqrt{3} \times 3.15} = 549.85 \text{ A}$$

$$CT \text{ Ratio} = 600/5 \text{ A}$$

- *Time Overcurrent Pickup*

$$\frac{1.05 \times FLA}{\frac{CT \text{ Ratio}}{600/5}} \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ min } 30 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_Substation\#2}}{CT \text{ Ratio}}$$

$$\frac{1.05 \times 549.85}{600/5} \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 8390}{600/5}$$

$$4.8 \leq I_{set} \leq 56$$

Dipilih *Tap Current Setting* = 5 A

Setting Actual I_{set} = $5 \times \frac{600}{5} = 600 \text{ A}$

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.7 + 0.3 = 1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{1}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{1}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ max } 4 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_Substation\#2}}{I_{set}}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{1 \times 1.5 \left[\left(\frac{8340}{840}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.4 \text{ s}$$

- *Current Setting High Set ($I_{>>}$)*

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ min } Bus \text{ Substation\#2}}{CT \text{ Ratio}}$$

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 8390}{600/5} = 55.93$$

Dipilih $I_{>>} = 55 \text{ A}$

Nilai aktual $I_{>>} = 55 \times 600/5 = 6600 \text{ A}$

Time Delay = 0.3 s

e Relay CBTS1.2

Manufacturer = Merlin Gerin

Model = SEPAM 1000

Curve Type = *Standard Inverse*

Instantaneous = *Disable*

$I_{sc} \text{ max } 4 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_TS1}$ = 8420 A

$$\begin{aligned}
I_{sc \text{ min } 30 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_TS1}} &= 8450 \text{ A} \\
FLA &= \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{7500}{\sqrt{3} \times 3.15} = 1374.6 \text{ A} \\
CT \text{ Ratio} &= 1500/5 \text{ A}
\end{aligned}$$

- *Time Overcurrent Pickup*

$$\begin{aligned}
\frac{1.05 \times FLA}{CT \text{ Ratio}} &\leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min } 30 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_TS1}}}{CT \text{ Ratio}} \\
\frac{1.05 \times 1374.6}{1500/5} &\leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 8450}{1500/5} \\
4.8 &\leq I_{set} \leq 22.7
\end{aligned}$$

Dipilih *Tap Current Setting* = 5 A

Setting Actual $I_{set} = 5 \times \frac{1500}{5} = 1500 \text{ A}$

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 1 + 0.3 = 1.3 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^{\alpha} - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max } 4 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_TS1}}}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{1.3 \times 1.5 \left[\left(\frac{8420}{1500} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$T_d = 0.66 \text{ s}$

- *Current Setting High Set ($I_{>>}$)*

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min Bus Substation\#2}}}{CT \text{ Ratio}}$$

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 8390}{1500/5} = 55.93$$

Dipilih $I_{>>} = 22.4 \text{ A}$

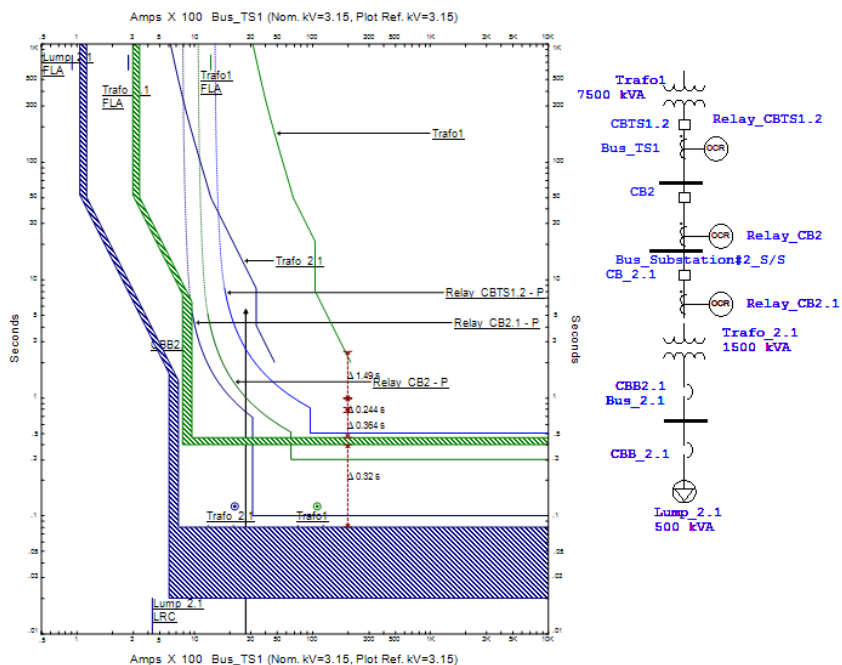
Nilai aktual $I_{>>} = 22.4 \times 1500/5 = 33600 \text{ A}$

Time Delay = 0.3 s

Tabel 4.5 Data Setting Rele Resetting pada Tipikal 1

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>LVCB2.1 Bus 2.1 Siemens ETU25B</i>	<i>I sensor</i>	<i>2500 A</i>
	<i>LT Pick Up</i>	<i>1</i>
	<i>LT Band</i>	<i>2</i>
	<i>ST band</i>	<i>0.02</i>
	<i>ST Pick Up</i>	<i>6</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disable</i>
<i>LVCB2 Bus 2.1 Siemens ETU25B</i>	<i>I sensor</i>	<i>2500 A</i>
	<i>LT Pick Up</i>	<i>0.9</i>
	<i>LT Band</i>	<i>2</i>
	<i>ST band</i>	<i>0.4</i>
	<i>ST Pick Up</i>	<i>2.5</i>
	<i>Instantaneous</i>	<i>Disable</i>
<i>Relay CB2.1 Merlin Gerin Sepam 1000</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>1-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>2</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0.4 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>800/10</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>1-24</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>39</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>3120/39</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.1 s</i>
<i>Relay CB2 Merlin Gerin Sepam 1000</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.3-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>1.8</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0.4 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>1080/9</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>1-24</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>11</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>6600/55</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.3 s</i>

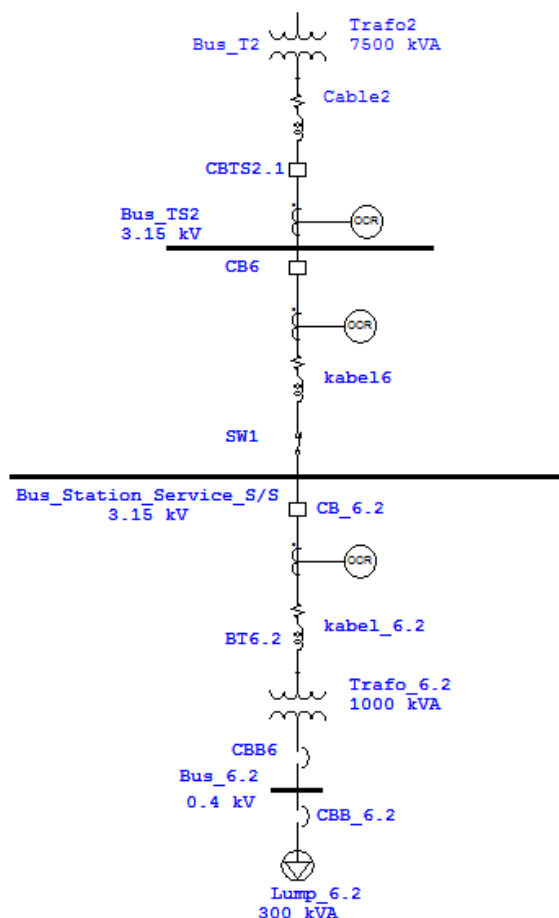
Relay CBTS1.2 Merlin Gerin Sepam 1000	Curve Type	Standard Inverse
	Pick Up Range	0.3-2.4
	Pick Up	1
	CT Ratio	1500/5
	Time Dial	0.6 s
	Instantaneous	
	Pick Up Range	1-24
	Pick Up	22.4
	CT Ratio	33600/11.2
	Time Delay	0.5 s



Gambar 4.3 Kurva Koordinasi Arus Waktu Resetting Tipikal 1

f Analisa Tipikal 2

Pada tipikal 1 ini akan dilakukan analisa mengenai sistem proteksi dan *arc flash*. Tipikal 1 terletak pada beban Lump_6.2 sampai Bus_TS2. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.4.



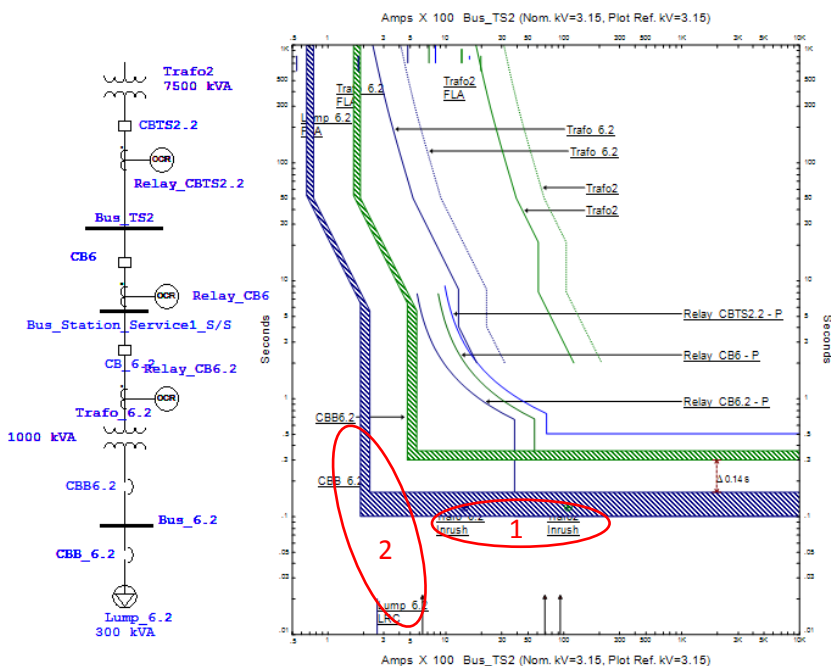
Gambar 4.4 Koordinasi Rele Tipikal 2

Tabel 4.6 Data *Setting* Rele Eksisting pada Tipikal 2

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>LVCB6.2 Bus 6.2 Siemens ETU25B</i>	<i>I sensor</i>	2500 A
	<i>LT Pick Up</i>	1
	<i>LT Band</i>	2
	<i>ST band</i>	0.1
	<i>ST Pick Up</i>	3
	<i>Instantaneous</i>	Disable
<i>LVCB6 Bus 6.2 Siemens ETU25B</i>	<i>I sensor</i>	2500 A
	<i>LT Pick Up</i>	0.5
	<i>LT Band</i>	2
	<i>ST band</i>	0.3
	<i>ST Pick Up</i>	1.5
	<i>Instantaneous</i>	Disable
<i>Relay CB6.2 Merlin Gerin Sepam 1000</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	0.3-2.4
	<i>Pick Up</i>	2.4
	<i>Time Dial</i>	0.6 s
	<i>Relay Ampere</i>	12/480
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	1-24
	<i>Pick Up</i>	19.3
	<i>Relay Ampere</i>	96.5/3860
	<i>Time Delay</i>	0.1 s
<i>Relay CB6 Merlin Gerin Sepam 1000</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	0.3-2.4
	<i>Pick Up</i>	1.45
	<i>Time Dial</i>	0.6 s
	<i>Relay Ampere</i>	7.25/725
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	1-24
	<i>Pick Up</i>	11.4
	<i>Relay Ampere</i>	57/5700
	<i>Time Delay</i>	0.3 s

Relay CBTS2.2 Merlin Gerin Sepam 1000	Curve Type	Standard Inverse
	Pick Up Range	0.3-2.4
	Pick Up	0.55
	CT Ratio	2.75/825
	Time Dial	0.7 s
	Instantaneous	
	Pick Up Range	1-24
	Pick Up	4.8
	CT Ratio	2.4/720
	Time Delay	0.5 s

Pada koordinasi proteksi tipikal 2 terdapat beberapa koordinasi rele pengaman yang masih perlu disempurnakan. Tanda lingkaran merah pada gambar 4.5 menunjukkan kesalahan yang harus diperbaiki.



Gambar 4.5 Kurva Koordinasi Arus Waktu Eksisting Tipikal 2

Pada lingkaran 1 terdapat koordinasi yang kurang tepat. Rele pengaman arus lebih LCB6.2 yang melindungi sisi sekunder (0.4 kV) trafo6.2 terkena LRA Lump Load, sehingga CB akan trip pada saat motor starting.

Pada lingkaran 2 terdapat koordinasi yang kurang tepat. Setting kurva rele pengaman arus lebih yang melindungi sisi primer trafo6.2 dan trafo2 mengenai INRUSH trafo. Hal ini mengakibatkan rele arus lebih yang melindungi sisi primer trafo akan bekerja pada saat trafo energized.

a. CBB 6.2

<i>Manufacturer</i>	= Siemens
<i>Model</i>	= ETU25B
$I_{sc \text{ max } 4 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_6.2}}$	= 18820 A
$I_{sc \text{ min } 30 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_6.2}}$	= 17830 A
I_{sensor}	= 2500 A
FLA	$= \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}} = \frac{300}{\sqrt{3} \times 0.4} = 433.01 \text{ A}$

• Long Time Pick Up

$1.05 \times \text{FLA}$	$\leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min } 30 \text{ cycle Bus_6.2}}$
1.05×433.01	$\leq I_{set} \leq 0.8 \times 17830$
454.6	$\leq I_{set} \leq 14264$
$I_{set} = 2500 \text{ A}$	
LT Pick Up	$= \frac{I_{set}}{I_{\text{sensor}}} = \frac{2500}{2500} = 1$
LT Band	= 0.02

• Short Pick Up Setting

I_{set}	$\leq 0.8 \times I_{sc \text{ min } 30 \text{ cycle Bus_6.2}}$
I_{set}	$\leq 0.8 \times 17830$
I_{set}	≤ 14264
Dipilih I_{set}	= 15000
ST Pick Up	$= \frac{I_{set \text{ ST}}}{I_{set \text{ LT}}} = \frac{15000}{2500} = 6$
Dipilih ST Band	= 0.2 s
Instantaneous	= Disable

b. CBB6

<i>Manufacturer</i>	= Siemens
<i>Model</i>	= ETU25B

$$\begin{aligned}
I_{sc \text{ max 4 cycle 3}\phi \text{ Bus_6.2}} &= 18820 \text{ A} \\
I_{sc \text{ min 30 cycle 3}\phi \text{ Bus_6.2}} &= 17830 \text{ A} \\
I_{\text{sensor}} &= 2500 \text{ A} \\
FLA &= \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 0.4} = 183.28 \text{ A}
\end{aligned}$$

- *Long Time Pick Up*

$$\begin{aligned}
1.05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min 30 cycle Bus_6.2}} \\
1.05 \times 183.28 &\leq I_{set} \leq 0.8 \times 17830 \\
192.4 &\leq I_{set} \leq 14264 \\
I_{set} &= 1500 \text{ A} \\
LT \text{ Pick Up} &= \frac{I_{set}}{I_{sensor}} = \frac{1250}{2500} = 0.5 \\
LT \text{ Band} &= 2
\end{aligned}$$

- *Short Pick Up Setting*

$$\begin{aligned}
I_{set} &\leq 0.8 \times I_{sc \text{ min 30 cycle Bus_6.2}} \\
I_{set} &\leq 0.8 \times 17830 \\
I_{set} &\leq 14264 \\
\text{Dipilih } I_{set} &= 750 \\
ST \text{ Pick Up} &= \frac{I_{set \text{ ST}}}{I_{set \text{ LT}}} = \frac{750}{2500} = 3 \\
\text{Dipilih } ST \text{ Band} &= 0.3 \text{ s} \\
Instantaneous &= \text{Disable}
\end{aligned}$$

c. Rele CB_6.2

$$\begin{aligned}
\text{Manufacturer} &= \text{Merlin Gerin} \\
\text{Model} &= \text{SEPAM 1000} \\
\text{Curve Type} &= \text{Standard Inverse} \\
\text{Instantaneous} &= \text{Disable} \\
I_{sc \text{ max 4 cycle 3}\phi \text{ Bus_6.2}} &= 18820 \text{ A} \\
\text{Dikonversi ke 3.15 kV} &= \frac{0.4}{3.15} \times 18820 = 2389.8 \text{ A} \\
I_{sc \text{ min 30 cycle 3}\phi \text{ Bus_Substation_Service}} &= 8400 \text{ A} \\
FLA &= \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 3.15} = 183.28 \text{ A} \\
CT \text{ Ratio} &= 200/5 \text{ A}
\end{aligned}$$

- *Time Overcurrent Pickup*

$$\frac{1.05 \times FLA}{\frac{CT \text{ Ratio}}{200/5}} \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min } 30 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_Substation_Service}}}{\frac{CT \text{ Ratio}}{200/5}}$$

$$\frac{1.05 \times 183.28}{200/5} \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 8400}{200/5}$$

$$4.5 \leq I_{set} \leq 164$$

Dipilih *Tap Current Setting* = 12 A

Setting Actual $I_{set} = 12 \times \frac{200}{5} = 480 \text{ A}$

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.7 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I}{I_{EB}}\right)^a - 1\right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max } 4 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_6.2}}{I_{set}}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.7 \times 1.5 \left[\left(\frac{2389.8}{150}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$T_d = 0.4 \text{ s}$

- *Current Setting High Set ($I_{>>}$)*

$$\frac{I_{sc \text{ max Bus_2.1}}}{\frac{CT \text{ Ratio}}{200/5}} \leq I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ max Bus_station_service}}}{\frac{CT \text{ Ratio}}{200/5}}$$

$$\frac{3127.38}{200/5} \leq I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 83400}{200/5}$$

$$19 \leq I_{>>} \leq 83.4$$

Dipilih $I_{>>} =$

Nilai actual $I_{>>} = 19.3 \times 200/5 = 3860 \text{ A}$

Time Delay = 0.1 s

d. Relay CB6

Manufacturer = Merlin Gerin

Model = Sepam 1000

Curve Type = *Standard Inverse*

$$\begin{aligned}
\text{Instantaneous} &= \text{Disable} \\
I_{sc} \text{ max 4 cycle } 3\phi \text{ Bus_Substation_Service} &= 9100 \text{ A} \\
I_{sc} \text{ min 30 cycle } 3\phi \text{ Bus_Substation_Service} &= 8400 \text{ A} \\
FLA &= \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{2500}{\sqrt{3} \times 3.15} = 458.2 \text{ A}
\end{aligned}$$

$$CT \text{ Ratio} = 500/5 \text{ A}$$

- *Time Overcurrent Pickup*

$$\begin{aligned}
\frac{1.05 \times FLA}{CT \text{ Ratio}} &\leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ min 30 cycle } 3\phi \text{ Bus_Substation_Service}}{CT \text{ Ratio}} \\
\frac{1.05 \times 458.2}{500/5} &\leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 8400}{500/5} \\
4.8 &\leq I_{set} \leq 67.2
\end{aligned}$$

$$\text{Dipilih Tap Current Setting} = 7.25 \text{ A}$$

$$\text{Setting Actual } I_{set} = 7.25 \times \frac{500}{5} = 725 \text{ A}$$

- *Time Dial*

$$\text{Dipilih waktu operasi (t)} = 0.7 + 0.3 = 1 \text{ s}$$

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ max 4 cycle } 3\phi \text{ Bus_Substation_Service}}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{1 \times 1.5 \left[\left(\frac{9100}{800} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.4 \text{ s}$$

- *Current Setting High Set ($I_{>>}$)*

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus Substation\#2}}{CT \text{ Ratio}}$$

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 8390}{500/5} = 67.12 \text{ A}$$

$$\text{Dipilih } I_{>>} = 57 \text{ A}$$

Nilai aktual $I_{>>} = 57 \times 500/5 = 5700 \text{ A}$

Time Delay = 0.3 s

e. Relay CBTS2.2

Manufacturer = Merlin Gerin

Model = SEPAM 1000

Curve Type = *Standard Inverse*

Instantaneous = *Disable*

$I_{sc \text{ max } 4 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_TS2}}$ = 9220 A

$I_{sc \text{ min } 30 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_TS2}}$ = 8450 A

FLA = $\frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{7500}{\sqrt{3} \times 3.15} = 1374.6 \text{ A}$

CT Ratio = 1500/5 A

• *Time Overcurrent Pickup*

$$\frac{1.05 \times FLA}{CT \text{ Ratio}} \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min } 30 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_TS2}}}{CT \text{ Ratio}}$$

$$\frac{1.05 \times 1374.6}{1500/5} \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 8450}{1500/5}$$

$$2.7 \leq I_{set} \leq 22.7$$

Dipilih *Tap Current Setting* = 27.5 A

Setting Actual $I_{set} = 27.5 \times \frac{1500}{5} = 825 \text{ A}$

• *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 1 + 0.3 = 1.3 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max } 4 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus_TS2}}}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{1.3 \times 1.5 \left[\left(\frac{9220}{1500} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$T_d = 0.5 \text{ s}$

- *Current Setting High Set ($I_{>>}$)*

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \text{ min Bus Substation\#2}}}{CT \text{ Ratio}}$$

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 8390}{1500/5} = 32.37$$

Dipilih $I_{>>} = 24 \text{ A}$

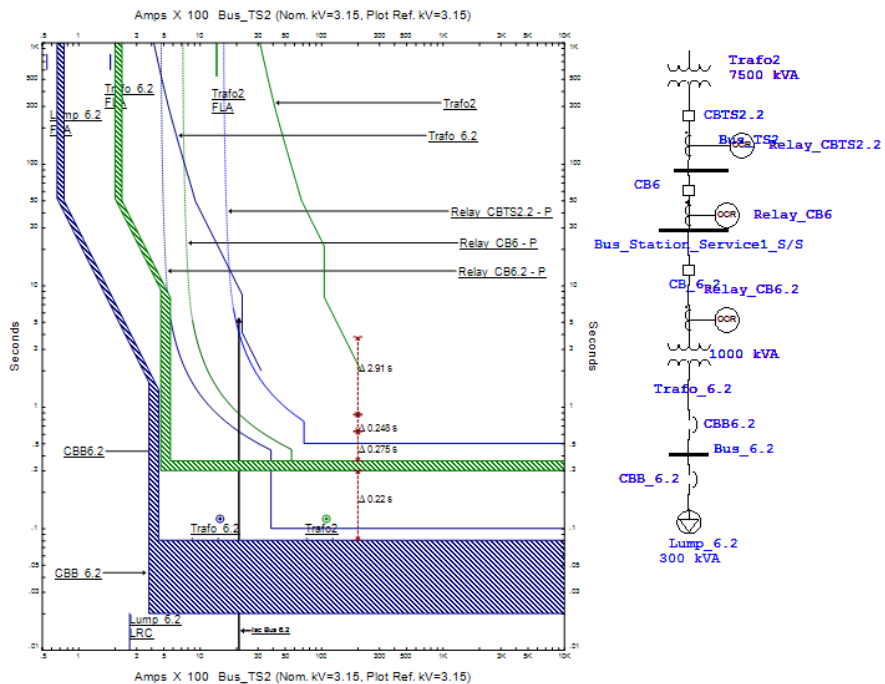
Nilai aktual $I_{>>} = 24 \times 1500/5 = 7200\text{A}$

Time Delay = 0.3 s

Tabel 4.7 Data Setting Rele Resetting pada Tipikal 2

Relay ID & Model	Setting	
LVCB6.2 Bus 6.2 Siemens ETU25B	<i>I sensor</i>	2500 A
	<i>LT Pick Up</i>	1
	<i>LT Band</i>	2
	<i>ST band</i>	0.02
	<i>ST Pick Up</i>	6
	<i>Instantaneous</i>	Disable
LVCB6 Bus 6.2 Siemens ETU25B	<i>I sensor</i>	2500 A
	<i>LT Pick Up</i>	0.5
	<i>LT Band</i>	2
	<i>ST band</i>	1.5
	<i>ST Pick Up</i>	0.3
	<i>Instantaneous</i>	Disable
Relay CB6.2 Merlin Gerin Sepam 1000	<i>Curve Type</i>	Standard Inverse
	<i>Pick Up Range</i>	0.3-2.4
	<i>Pick Up</i>	2.4
	<i>Time Dial</i>	0.4 s
	<i>Relay Ampere</i>	12/480
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	1-24
	<i>Pick Up</i>	19.3
	<i>Relay Ampere</i>	96.5/3860
	<i>Time Delay</i>	0.1 s
Relay CB6 Merlin Gerin Sepam 1000	<i>Curve Type</i>	Standard Inverse
	<i>Pick Up Range</i>	0.3-2.4

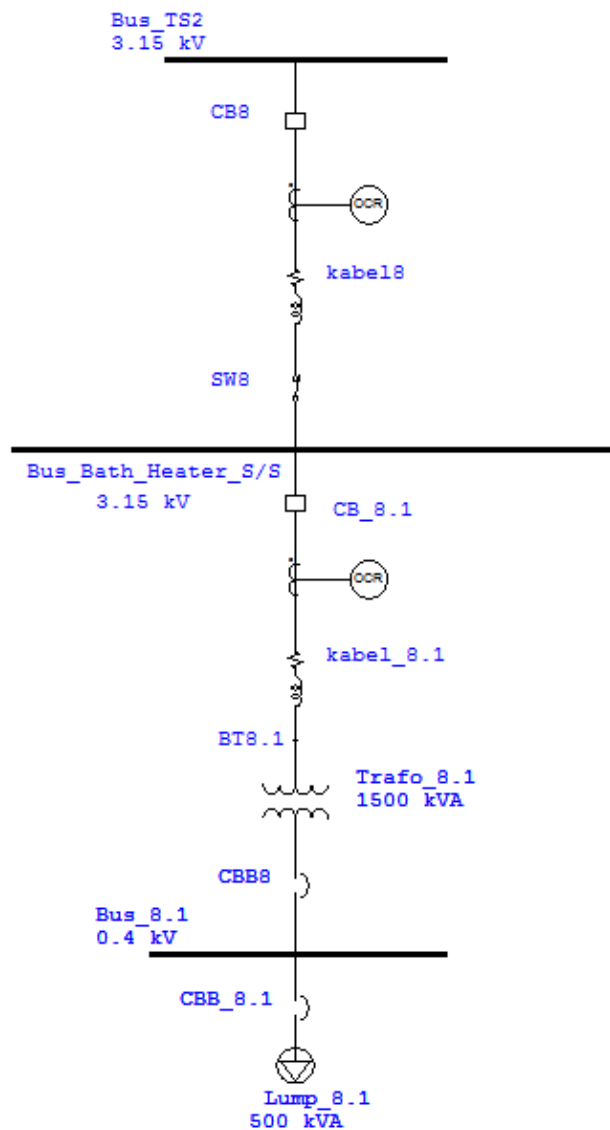
	<i>Pick Up</i>	<i>1.45</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0.4 s</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>7.25/725</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>1-24</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>11.4</i>
	<i>Relay Ampere</i>	<i>57/5700</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.5 s</i>
<i>Relay CBTS2.2 Merlin Gerin Sepam 1000</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	<i>0.3-2.4</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>0.55</i>
	<i>CT Ratio</i>	<i>2.75/825</i>
	<i>Time Dial</i>	<i>0.5 s</i>
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	<i>1-24</i>
	<i>Pick Up</i>	<i>4.8</i>
	<i>CT Ratio</i>	<i>2.4/720</i>
	<i>Time Delay</i>	<i>0.5 s</i>



Gambar 4.6 Kurva Koordinasi Arus Waktu Resetting Tipikal 2

g Analisa Tipikal 3

Pada tipikal 1 ini akan dilakukan analisa mengenai sistem proteksi dan *arc flash*. Tipikal 1 terletak pada beban Lump_8.1 sampai Bus_TS2. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.7.

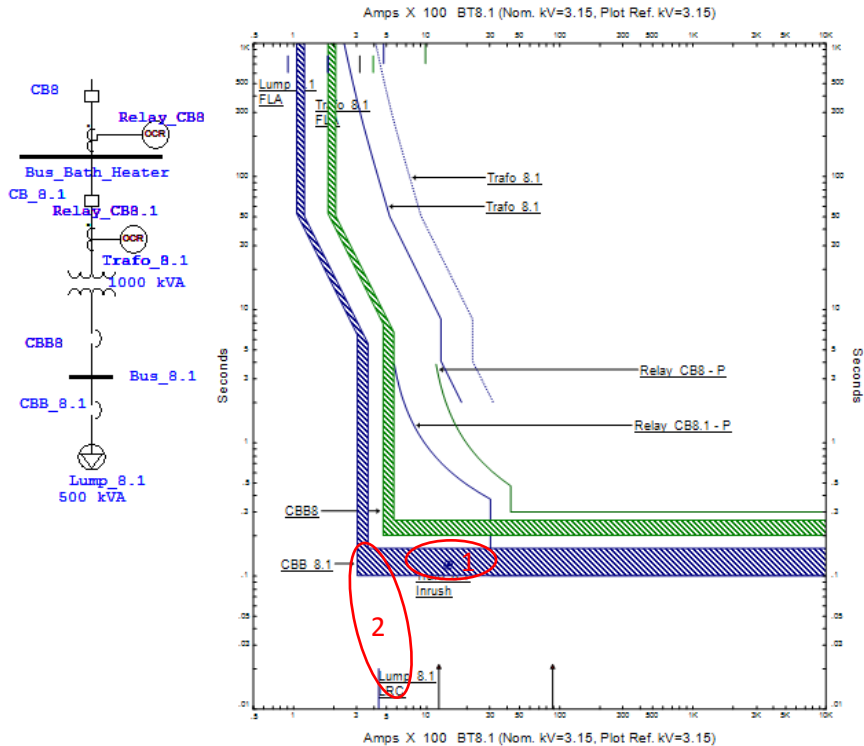


Gambar 4.7 Koordinasi Rele Tipikal 3

Tabel 4.8 Data *Setting* Rele Eksisting pada Tipikal 3

<i>Relay ID & Model</i>	<i>Setting</i>	
<i>LVCB8.1 Bus 8.1 Siemens ETU25B</i>	<i>I sensor</i>	2500 A
	<i>LT Pick Up</i>	1
	<i>LT Band</i>	2
	<i>ST band</i>	0.1
	<i>ST Pick Up</i>	3
	<i>Instantaneous</i>	Disable
<i>LVCB8 Bus 8.1 Siemens ETU25B</i>	<i>I sensor</i>	2500 A
	<i>LT Pick Up</i>	0.55
	<i>LT Band</i>	2
	<i>ST band</i>	0.2
	<i>ST Pick Up</i>	1.5
	<i>Instantaneous</i>	Disable
<i>Relay CB8.1 Merlin Gerin Sepam 1000</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	0.3-2.4
	<i>Pick Up</i>	2.4
	<i>Time Dial</i>	0.3 s
	<i>Relay Ampere</i>	12/480
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	1-24
	<i>Pick Up</i>	15.2
	<i>Relay Ampere</i>	76/3040
	<i>Time Delay</i>	0.1 s
<i>Relay CB8 Merlin Gerin Sepam 1000</i>	<i>Curve Type</i>	<i>Standard Inverse</i>
	<i>Pick Up Range</i>	0.3-2.4
	<i>Pick Up</i>	1.1
	<i>Time Dial</i>	0.3 s
	<i>Relay Ampere</i>	5.5/990
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	1-24
	<i>Pick Up</i>	4.8
	<i>Relay Ampere</i>	24/4320
	<i>Time Delay</i>	0.3 s

Pada koordinasi proteksi tipikal 2 terdapat beberapa koordinasi rele pengaman yang masih perlu disempurnakan. Tanda lingkaran merah pada gambar 4.8 menunjukkan kesalahan yang harus diperbaiki.



Gambar 4.8 Kurva Koordinasi Arus Waktu Eksisting Tipikal 3

Pada lingkaran 1 terdapat koordinasi yang kurang tepat. Rele pengaman arus lebih LCB8.1 yang melindungi sisi sekunder (0.4 kV) trafo8.1 terkena LRA Lump Load, sehingga CB akan trip pada saat motor starting.

Pada lingkaran 2 terdapat koordinasi yang kurang tepat. Setting kurva rele pengaman arus lebih yang melindungi sisi primer trafo8.1 mengenai INRUSH trafo. Hal ini mengakibatkan rele arus lebih yang melindungi sisi primer trafo akan bekerja pada saat trafo energized.

a. CBB_8.1

$$\begin{aligned}
\text{Manufacturer} &= \text{Siemens} \\
\text{Model} &= \text{ETU25B} \\
I_{sc \text{ max 4 cycle 3}\phi \text{ Bus}_{8.1}} &= 19480 \text{ A} \\
I_{sc \text{ min 30 cycle 3}\phi \text{ Bus}_{8.1}} &= 17900 \text{ A} \\
I_{\text{sensor}} &= 2500 \text{ A} \\
\text{FLA} &= \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}} = \frac{500}{\sqrt{3} \times 0.4} = 721.68 \text{ A}
\end{aligned}$$

- *Long Time Pick Up*

$$\begin{aligned}
1.05 \times \text{FLA} &\leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min 30 cycle Bus}_{8.1}} \\
1.05 \times 721.68 &\leq I_{set} \leq 0.8 \times 17900 \\
757.7 &\leq I_{set} \leq 14320 \\
I_{set} &= 2500 \text{ A} \\
\text{LT Pick Up} &= \frac{I_{set}}{I_{\text{sensor}}} = \frac{2500}{2500} = 1 \\
\text{LT Band} &= 2 \text{ s}
\end{aligned}$$

- *Short Pick Up Setting*

$$\begin{aligned}
I_{set} &\leq 0.8 \times I_{sc \text{ min 30 cycle Bus}_{2.1}} \\
I_{set} &\leq 0.8 \times 17900 \\
I_{set} &\leq 14320 \\
\text{Dipilih } I_{set} &= 4600 \\
\text{ST Pick Up} &= \frac{I_{set \text{ ST}}}{I_{set \text{ LT}}} = \frac{15000}{2500} = 6 \\
\text{Dipilih ST Band} &= 0.02 \\
\text{Instantaneous} &= \text{Disable}
\end{aligned}$$

b. CBB8

$$\begin{aligned}
\text{Manufacturer} &= \text{Siemens} \\
\text{Model} &= \text{ETU25B} \\
I_{sc \text{ max 4 cycle 3}\phi \text{ Bus}_{8.1}} &= 19480 \text{ A} \\
I_{sc \text{ min 30 cycle 3}\phi \text{ Bus}_{8.1}} &= 17900 \text{ A} \\
I_{\text{sensor}} &= 2500 \text{ A} \\
\text{FLA} &= \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}} = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 0.4} = 2165.13 \text{ A}
\end{aligned}$$

- *Long Time Pick Up*

$$\begin{aligned}
1.05 \times \text{FLA} &\leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{sc \text{ min 30 cycle Bus}_{8.1}} \\
1.05 \times 2165.13 &\leq I_{set} \leq 0.8 \times 1790 \\
2273.38 &\leq I_{set} \leq 1432
\end{aligned}$$

$$I_{\text{set}} = 1400 \text{ A}$$

$$\text{LT Pick Up} = \frac{I_{\text{set}}}{I_{\text{sensor}}} = \frac{1400}{2500} = 0.6$$

$$\text{LT Band} = 2$$

- *Short Pick Up Setting*

$$I_{\text{set}} \leq 0.8 \times I_{\text{sc min 30 cycle Bus}_2.1}$$

$$I_{\text{set}} \leq 0.8 \times 23480$$

$$I_{\text{set}} \leq 18784$$

$$\text{Dipilih } I_{\text{set}} = 3750$$

$$\text{ST Pick Up} = \frac{I_{\text{set ST}}}{I_{\text{set LT}}} = \frac{3750}{1500} = 2.5$$

$$\text{Dipilih ST Band} = 0.3 \text{ s}$$

$$\text{Instantaneous} = \text{Disable}$$

c. Rele CB_8.1

$$\text{Manufacturer} = \text{Merlin Gerin}$$

$$\text{Model} = \text{Sepam 1000}$$

$$\text{Curve Type} = \text{Standard Inverse}$$

$$I_{\text{sc max 4 cycle 3}\phi \text{ Bus}_8.1} = 19480 \text{ A}$$

$$\text{Dikonversi ke 3.15 kV} = \frac{0.4}{3.15} \times 19480 = 2473.65 \text{ A}$$

$$I_{\text{sc min 30 cycle 3}\phi \text{ Bus}_\text{Bath_Heater}} = 8400 \text{ A}$$

$$\text{FLA} = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{500}{\sqrt{3} \times 3.15} = 91.64 \text{ A}$$

$$\text{CT Ratio} = 200/5 \text{ A}$$

- *Time Overcurrent Pickup*

$$\frac{1.05 \times \text{FLA}}{\text{CT Ratio}} \leq I_{\text{set}} \leq \frac{0.8 \times I_{\text{sc min 30 cycle 3}\phi \text{ Bus}_\text{Bath_Heater}}}{\text{CT Ratio}}$$

$$\frac{1.05 \times 91.64}{200/5} \leq I_{\text{set}} \leq \frac{0.8 \times 8400}{200/5}$$

$$2.4 \leq I_{\text{set}} \leq 336$$

$$\text{Dipilih Tap Current Setting} = 12 \text{ A}$$

$$\text{Setting Actual } I_{\text{set}} = 12 \times \frac{200}{5} = 480 \text{ A}$$

- *Time Dial*

$$\text{Dipilih waktu operasi (t)} = 0.7 \text{ s}$$

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{EB}}} \right)^a - 1 \right]}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{1}{I_{EB}} \right)^a - 1 \right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I_{sc \max 4 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus}_8.1}}{I_{set}} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{0.7 \times 1.5 \left[\left(\frac{2473.65}{200} \right)^1 - 1 \right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.4 \text{ s}$$

• *Current Setting High Set (I_{>>})*

$$\frac{I_{sc \max \text{ Bus}_8.1}}{CT \text{ Ratio}} \leq I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \max \text{ bus bath heater}}}{CT \text{ Ratio}}$$

$$\frac{2473}{200/5} \leq I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 8400}{200/5}$$

$$61.8 \leq I_{>>} \leq 168$$

Dipilih I_{>>} = 76

Nilai actual I_{>>} = 76 x 200/5 = 3040 A

Time Delay dipilih 0.1 s

d. Relay CB8

Manufacturer = Merlin Gerin

Model = Sepam 1000

Curve Type = *Standard Inverse*

Instantaneous = *Disable*

I_{sc max 4 cycle 3φ Bus_Bath_Heater = 91500 A}

I_{sc min 30 cycle 3φ Bus_Substation#2 = 8400 A}

$$FLA = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{4500}{\sqrt{3} \times 3.15} = 824.8 \text{ A}$$

$$CT \text{ Ratio} = 900/5 \text{ A}$$

• *Time Overcurrent Pickup*

$$\frac{1.05 \times FLA}{CT \text{ Ratio}} \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times I_{sc \min 30 \text{ cycle } 3\phi \text{ Bus}_Bath_Heater}}{CT \text{ Ratio}}$$

$$\frac{1.05 \times 824.8}{900/5} \leq I_{set} \leq \frac{0.8 \times 8400}{900/5}$$

$$4.8 \leq I_{set} \leq 37$$

$$\begin{aligned}\text{Dipilih Tap Current Setting} &= 5.5 \text{ A} \\ \text{Setting Actual } I_{\text{set}} &= 5.5 \times \frac{900}{5} = 990 \text{ A}\end{aligned}$$

- *Time Dial*

Dipilih waktu operasi (t) = 0.7 + 0.3 = 1 s

$$t = \frac{K \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{EB}}}\right)^{\alpha} - 1\right]}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I}{I_{\text{EB}}}\right)^{\alpha} - 1\right]}{K}$$

$$T_d = \frac{t \times 1.5 \left[\left(\frac{I_{\text{sc max 4 cycle 3}\phi \text{ Bus Bath Heater}}{I_{\text{set}}}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$$T_d = \frac{1 \times 1.5 \left[\left(\frac{322.9}{900}\right)^1 - 1\right]}{13.5}$$

$$T_d = 0.3$$

- *Current Setting High Set ($I_{>>}$)*

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times I_{\text{sc min Bus Bath Heater}}}{CT \text{ Ratio}}$$

$$I_{>>} \leq \frac{0.8 \times 8390}{900/5} = 55.93$$

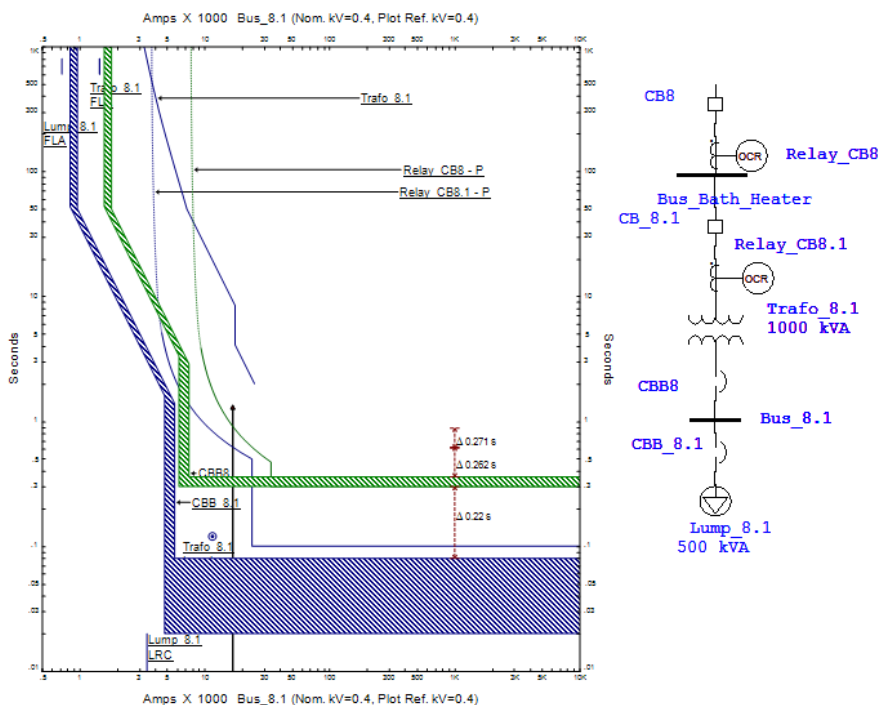
Dipilih $I_{>>} = 24 \text{ A}$

Nilai aktual $I_{>>} = 24 \times 900/5 = 4320 \text{ A}$

Time Delay = 0.3 s

Tabel 4.9 Data Setting Rele Resetting pada Tipikal 3

Relay ID & Model	Setting	
LVCB8.1 Bus 8.1 Siemens ETU25B	<i>I sensor</i>	2500 A
	<i>LT Pick Up</i>	1
	<i>LT Band</i>	2
	<i>ST band</i>	0.02
	<i>ST Pick Up</i>	6
	<i>Instantaneous</i>	Disable
LVCB8 Bus 8.1 Siemens ETU25B	<i>I sensor</i>	2500 A
	<i>LT Pick Up</i>	0.6
	<i>LT Band</i>	2
	<i>ST band</i>	0.3
	<i>ST Pick Up</i>	2.5
	<i>Instantaneous</i>	Disable
Relay CB8.1 Merlin Gerin Sepam 1000	<i>Curve Type</i>	Standard Inverse
	<i>Pick Up Range</i>	0.3-2.4
	<i>Pick Up</i>	2.4
	<i>Time Dial</i>	0.4 s
	<i>Relay Ampere</i>	12/480
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	1-24
	<i>Pick Up</i>	15.2
	<i>Relay Ampere</i>	76/3040
	<i>Time Delay</i>	0.1 s
Relay CB8 Merlin Gerin Sepam 1000	<i>Curve Type</i>	Standard Inverse
	<i>Pick Up Range</i>	0.3-2.4
	<i>Pick Up</i>	1.1
	<i>Time Dial</i>	0.3 s
	<i>Relay Ampere</i>	5.5/990
	<i>Instantaneous</i>	
	<i>Pick Up Range</i>	1-24
	<i>Pick Up</i>	4.8
	<i>Relay Ampere</i>	24/4320
	<i>Time Delay</i>	0.3 s



Gambar 4.9 Kurva Koordinasi Arus Waktu Resetting Tipikal 3

4.5 Hasil Simulasi *Incident Energy Arc Flash*

Dengan dilakukannya simulasi menggunakan maka didapatkan nilai *incident energy arc flash* dan *category incident* yang terjadi yang akan disesuaikan dengan *Personal Protective Equipment* (PPE) sesuai dengan standart NFPA 70E-2009. Data simulasi ini berdasarkan tipikal-tipikal yang telah dilakukan koordinasi pengamannya, yaitu tipikal 1, tipikal 2 dan tipikal 3.

Pada tabel 4.10 akan ditunjukkan data dari hasil simulasi *incident energy arc flash* tipikal 1.

Tabel 4.10 Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem eksisting tipikal 1.

Bus ID	Arus <i>Bolted Fault</i> (kA)	Arus <i>Arching</i> (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori
Bus TS1	9.409	9.141	2.9	30.2	4
Bus Substation#2	9.324	9.06	0.55	5.63	2
Bus 2.1	27.35	10.49	1.397	31.002	4

Tabel 4.11 akan menunjukkan hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 1.

Tabel 4.11 Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 1.

Bus ID	Arus <i>Bolted Fault</i> (kA)	Arus <i>Arching</i> (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori
Bus TS1	9.409	9.141	2.3	23.7	3
Bus Substation#2	9.324	9.06	0.54	5.52	2
Bus 2.1	27.35	10.49	0.79	39.9	4

Pada tabel 4.12 akan ditunjukkan data dari hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem eksisting tipikal 2.

Tabel 4.12 Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem eksisting tipikal 2.

Bus ID	Arus <i>Bolted Fault</i> (kA)	Arus <i>Arching</i> (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori
Bus TS2	10.46	10.14	2.5	29.1	4
Bus Station Service	10.31	10	0.38	4.3	2
Bus 6.2	11.79	5.403	0.886	9.596	3

Begitu juga dengan hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 2 yang didapatkan setelah dilakukan koordinasi pengaman yang tepat. Hal ini ditunjukkan pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 2.

Bus ID	Arus <i>Bolted Fault</i> (kA)	Arus <i>Arching</i> (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori
Bus TS2	10.46	10.14	2.2	26.1	4
Bus Station Service	10.31	10	0.34	3.8	1
Bus 6.2	11.79	5.403	1.1	11.8	3

Pada tabel 4.14 akan ditunjukkan data dari hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem eksisting tipikal 3.

Tabel 4.14 Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem eksisting tipikal 3.

Bus ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arching (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori
Bus TS2	10.46	10.14	2.5	29.1	4
Bus Bath Heater	10.38	10.6	0.96	11.02	3
Bus 8.1	28.34	10.78	3.6	82.8	>4

Data hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 3 setelah dilakukan koordinasi pengaman dapat dilihat pada tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.15 Hasil simulasi *incident energy arc flash* pada sistem *resetting* tipikal 3.

Bus ID	Arus Bolted Fault (kA)	Arus Arching (kA)	FCT (s)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori
Bus TS2	10.46	10.14	2.2	26.1	4
Bus Bath Heater	10.38	10.6	0.75	8.6	3
Bus 8.1	28.34	10.78	1.6	37.7	4

4.6 Perhitungan *Incident Energy Arc Flash* Sesuai Standart IEEE 1584-2002

Setelah melakukan simulasi maka dilakukan perhitungan manual sesuai dengan standart IEEE 1584-2002 guna mencocokkan hasil simulasi dengan perhitungan secara manual. Pada sub bab ini dilakukan perhitungan manual terhadap sistem *resetting* setelah dilakukan koordinasi pengamannya pada masing-masing tipikal ID Bus.

4.6.1 Perhitungan Incident Energy Arc Flash Tipikal 1

Tipikal 1 terdapat empat ID Bus yang dapat dianalisa nilai energi busur apinya, yaitu Bus_TS1, Bus_Substation#2, Bus_2.1. Analisa perhitungannya dapat dilihat seperti berikut ini :

- **Bus_TS1**

$$I_{bf} = 9.409 \text{ kA}$$

$$t = 2.3 \text{ s}$$

$$D = 914.4 \text{ mm}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned} I_a &= 1.01 \times I_{bf}^{0.983} \\ &= 1.01 \times (9.409)^{0.983} \\ &= 9.15 \text{ kA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_n &= I_a^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011 \times G)} \\ &= (9.15)^{1.081} \times 10^{(-0.555 - 0.113 + 0.0011 \times 102)} \\ &= 3.06 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\ &= 1 \times 3.06 \left(\frac{2.3}{0.2}\right) \left(\frac{610}{914.4}\right)^{0.973} \\ &= 23.7 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned} D_B &= \left[4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}} \\ &= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 3.06 \cdot \left(\frac{2.3}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0.973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0.973}} \\ &= 19630 \text{ mm} \\ &= 19.63 \text{ m} \end{aligned}$$

- **Bus_Substation#2**

$$I_{bf} = 9.324 \text{ kA}$$

$$t = 0.54 \text{ s}$$

$$D = 914.4 \text{ mm}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned}
 I_a &= 1.01 \times I_{bf}^{0.983} \\
 &= 1.01 \times (9.324)^{0.983} \\
 &= 9.06 \text{ kA} \\
 E_n &= I_a^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011 \times G)} \\
 &= (9.06)^{1.081} \times 10^{(-0.555 - 0.113 + 0.0011 \times 102)} \\
 &= 3.03 \text{ J/cm}^2 \\
 E &= C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\
 &= 1 \times 3.03 \left(\frac{0.54}{0.2}\right) \left(\frac{610}{914.4}\right)^{0.973} \\
 &= 5.51 \text{ cal/cm}^2
 \end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned}
 D_B &= \left[4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}} \\
 &= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 3.03 \cdot \left(\frac{0.54}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0.973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0.973}} \\
 &= 4404.9 \text{ mm} \\
 &= 4.405 \text{ m}
 \end{aligned}$$

• **Bus_2.1**

$$\begin{aligned}
 I_{bf} &= 27.35 \text{ kA} \\
 I_a &= 26.1 \text{ kA} \\
 t &= 0.79 \text{ s} \\
 D &= 609.6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned}
 E_n &= I_a^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011 \times G)} \\
 &= (26.1)^{1.081} \times 10^{(-0.555 - 0.113 + 0.0011 \times 32)} \\
 &= 6.8 \text{ J/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E &= C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\
&= 1.5 \times 6.8 \left(\frac{0.79}{0.2}\right) \left(\frac{610}{609.6}\right)^{1.473} \\
&= 40.1 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned}
D_B &= \left[4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}} \\
&= \left[4,184 \cdot 1.5 \cdot 6.8 \cdot \left(\frac{0.79}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{1.473}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{1.473}} \\
&= 6505.7 \text{ mm} \\
&= 6.505 \text{ m}
\end{aligned}$$

4.6.2 Perhitungan Incident Energy Arc Flash Tipikal 2

Tipikal 2 terdapat empat ID Bus yang dapat dianalisa nilai energi busur apinya, yaitu Bus_TS2, Bus_Station_Service, Bus_6.2. Analisa perhitungannya dapat dilihat seperti berikut ini :

- **Bus_TS2**

$$I_{bf} = 10.46 \text{ kA}$$

$$t = 2.2 \text{ s}$$

$$D = 914.4 \text{ mm}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned}
I_a &= 1.01 \times I_{bf}^{0.983} \\
&= 1.01 \times (10.46)^{0.983} \\
&= 10.15 \text{ kA}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E_n &= I_a^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011 \times G)} \\
&= (10.15)^{1.081} \times 10^{(-0.555 - 0.113 + 0.0011 \times 102)} \\
&= 3.4 \text{ J/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E &= C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\
&= 1 \times 3.4 \left(\frac{2.2}{0.2}\right) \left(\frac{610}{914.4}\right)^{0.973}
\end{aligned}$$

$$= 25.98 \text{ cal/cm}^2$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned} D_B &= \left[4,184 \cdot Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \\ &= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 3.4 \cdot \left(\frac{2.2}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}} \\ &= 21590 \text{ mm} \\ &= 21.59 \text{ m} \end{aligned}$$

• **Bus_Station_Service**

$$I_{bf} = 10.31 \text{ kA}$$

$$t = 0.34 \text{ s}$$

$$D = 914.4 \text{ mm}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned} I_a &= 1.01 \times I_{bf}^{0,983} \\ &= 1.01 \times (10.31)^{0,983} \\ &= 10 \text{ kA} \\ E_n &= I_a^{1,081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011 \times G)} \\ &= (10)^{1,081} \times 10^{(-0,555 - 0.113 + 0.0011 \times 102)} \\ &= 3.4 \text{ J/cm}^2 \\ E &= Cf \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610}{D} \right)^x \\ &= 1 \times 3.4 \left(\frac{0.34}{0.2} \right) \left(\frac{610}{914.4} \right)^{0.973} \\ &= 3.81 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned} D_B &= \left[4,184 \cdot Cf \cdot En \cdot \left(\frac{t}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \\ &= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 3.4 \cdot \left(\frac{0.34}{0,2} \right) \cdot \left(\frac{610^{0,973}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{0,973}} \\ &= 3062.3 \text{ mm} \\ &= 3.062 \text{ m} \end{aligned}$$

- **Bus_6.2**

$$I_{bf} = 11.79 \text{ kA}$$

$$I_a = 5.46 \text{ kA}$$

$$t = 1.09 \text{ s}$$

$$D = 609.6 \text{ mm}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned} E_n &= I_a^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011 \times G)} \\ &= (5.46)^{1.081} \times 10^{(-0.555 - 0.113 + 0.0011 \times 32)} \\ &= 1.42 \text{ J/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\ &= 1.5 \times 1.42 \left(\frac{1.09}{0.2}\right) \left(\frac{610}{609.6}\right)^{1.473} \\ &= 11.82 \text{ cal/cm}^2 \end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned} D_B &= \left[4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}} \\ &= \left[4,184 \cdot 1.5 \cdot 1.42 \cdot \left(\frac{1.09}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^{1.473}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{1.473}} \\ &= 2815.3 \text{ mm} \\ &= 2.81 \text{ m} \end{aligned}$$

4.6.3 Perhitungan Incident Energy Arc Flash Tipikal 3

Tipikal 1 terdapat empat ID Bus yang dapat dianalisa nilai energi busur apinya, yaitu Bus_TS2, Bus_Station_Service, Bus_2.1. Analisa perhitungannya dapat dilihat seperti berikut ini :

- **Bus_Bath_Heater**

$$I_{bf} = 10.38 \text{ kA}$$

$$t = 0.75 \text{ s}$$

$$D = 914.4 \text{ mm}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned}
 I_a &= 1.01 \times I_{bf}^{0.983} \\
 &= 1.01 \times (10.38)^{0.983} \\
 &= 10.07 \text{ kA} \\
 E_n &= I_a^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011 \times G)} \\
 &= (10.07)^{1.081} \times 10^{(-0.555 - 0.113 + 0.0011 \times 102)} \\
 &= 3.37 \text{ J/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\
 &= 1 \times 3.37 \left(\frac{0.75}{0.2}\right) \left(\frac{610}{914.4}\right)^{0.973} \\
 &= 8.59 \text{ cal/cm}^2
 \end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned}
 D_B &= \left[4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}} \\
 &= \left[4,184 \cdot 1 \cdot 3.37 \cdot \left(\frac{0.75}{0.2}\right) \cdot \left(\frac{610^{0.973}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{0.973}} \\
 &= 6315.6 \text{ mm} \\
 &= 6.315 \text{ m}
 \end{aligned}$$

• **Bus_8.1**

$$\begin{aligned}
 I_{bf} &= 28.34 \text{ kA} \\
 I_a &= 12.68 \text{ kA} \\
 t &= 1.6 \text{ s} \\
 D &= 609.6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data tersebut, maka :

Mencari besar *incident energy arc flash*

$$\begin{aligned}
 E_n &= I_a^{1.081} \times 10^{(K1 + K2 + 0.0011 \times G)} \\
 &= (12.68)^{1.081} \times 10^{(-0.555 - 0.113 + 0.0011 \times 32)} \\
 &= 3.2 \text{ J/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E &= C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \\
&= 1.5 \times 3.2 \left(\frac{1.6}{0.2}\right) \left(\frac{610}{609.6}\right)^{1.473} \\
&= 37.69 \text{ cal/cm}^2
\end{aligned}$$

Mencari besar *flash protection boundary*

$$\begin{aligned}
D_B &= \left[4,184 \cdot C_f \cdot E_n \cdot \left(\frac{t}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^x}{E_B}\right) \right]^{\frac{1}{x}} \\
&= \left[4,184 \cdot 1.5 \cdot 3.2 \cdot \left(\frac{1.6}{0,2}\right) \cdot \left(\frac{610^{1.473}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{1.473}} \\
&= 6332.2 \text{ mm} \\
&= 6.332 \text{ m}
\end{aligned}$$

4.7 Perbandingan Nilai *Flash Protection Boundary* (FPB) Kondisi *Existing* dan *Resetting*

Flash Protection Boundary merupakan jarak aman pekerja dari titik terjadinya busur api, atau jarak dari titik busur api yang dapat menghasilkan energi 1,2 cal/cm². Dalam jarak batasan ini, seseorang masih diperbolehkan untuk tidak menggunakan alat perlindungan diri yang sesuai, tetapi ketika melewati batasan ini, seseorang diwajibkan untuk memakai alat perlindungan diri yang sesuai. Seberapa jauh jarak FPB ini tergantung dari besar energi yang dihasilkan. Semakin besar energinya maka semakin jauh pula jarak amannya, demikian sebaliknya. Nilai FPB akan dibandingkan ketika kondisi *existing* dan *resetting*.

Tabel 4.16 Data Perbandingan FPB Kondisi *Existing* dan *Resetting*

Bus ID	FPB Eksisting (meter)	FPB Resetting (meter)
Bus_2.1	5.54	6.5
Bus_Substation#2	4.48	4.4
Bus_TS1	25.52	19.62
Bus_6.2	2.49	2.28
Bus_Station_Service	3.45	3.06
Bus_TS2	24.23	21.6
Bus_8.1	10.81	6.9
Bus_Bath_Heater	8.93	6.3

4.8 Perbandingan *Incident Energy Arc Flash* Kondisi *Resetting* Antara Simulasi dan Perhitungan

Perbandingan antara perhitungan manual dan hasil simulasi *resetting* perlu dilakukan agar diketahui kesalahan dari analisa *arc flash*. Pada tabel dibawah ini akan ditunjukkan perbandingannya secara persentase.

Tabel 4.17 Perbandingan *incident energy arc flash* pada tipikal 1

ID Bus	Simulasi	Perhitungan	Error (%)
Bus TS1	23.712	23.7	0.05
Bus Substation#2	5.52	5.51	0.18
Bus 2.1	39.904	40.1	0.48

Tabel 4.18 Perbandingan *incident energy arc flash* pada tipikal 2

ID Bus	Simulasi	Perhitungan	Error (%)
Bus TS2	26.1	25.98	0.45
Bus Station Service	3.8	3.81	0.26
Bus 6.2	11.8	11.82	0.16

Tabel 4.19 Perbandingan *incident energy arc flash* pada tipikal 3

ID Bus	Simulasi	Perhitungan	Error (%)
Bus Bath Heater	8.6	8.59	0.11
Bus 8.1	37.7	37.69	0.02

4.9 *Personal Protective Equipment (PPE)* yang Harus Digunakan

Personal Protective Equipment (PPE) merupakan alat perlindungan diri yang harus digunakan ketika melakukan suatu pekerjaan di daerah yang beresiko terkena busur api.

Penting untuk menganalisa dan mengetahui besar energi busur api yang ada agar mengetahui jenis *PPE* yang tepat yang harus digunakan supaya dapat menurunkan resiko terkena dampak dari busur api bagi para pekerja terkait.

Tabel 4.20 Jenis PPE Berdasarkan Kategori Bahaya Busur Api Setelah *Resetting*

Bus ID	Insiden Energi <i>Resetting</i> (cal/cm ²)	Kategori	Jenis PPE
Bus Station	3.8	1	Pakaian dan celana yang tahan api
Service Bus Substation#2	5.52	2	Pakaian dalam dengan kain katun, serta pakaian luar dan celana yang tahan api
Bus 6.2	11.8	3	Pakaian dalam kain katun ditambah baju dan celana yang tahan api ditambah pakaian tahan api yang mencakup seluruh tubuh
Bus Bath Heater	8.6		
Bus TS1	23.712		
Bus 2.1	39.904	4	Pakaian dalam katun ditambah baju dan celana tahan api ditambah mantel dan celana tahan api double layer
Bus 8.1	37.7		
Bus TS2	26.1		

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil studi koordinasi proteksi dengan memperhitungkan besar energi busur api yang telah dilakukan pada sistem kelistrikan PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil simulasi ETAP diketahui koordinasi proteksi sistem eksisting PT Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo masih butuh perbaikan.
2. Beberapa rele arus lebih yang ada belum terkoordinasi dengan baik. Hal ini yang menyebabkan pemutus daya (PMT) pada sisi hulu lebih dahulu *trip* dalam merespon ketika ada arus gangguan.
3. Setelah dilakukan *Resetting* dengan menyesuaikan waktu trip menyebabkan insiden energi yang ada semakin berkurang.
4. Waktu rele memberikan sinyal trip kepada *circuit breaker* (CB) mempengaruhi besar nilai insiden *arc flash* yang akan ditimbulkan dikarenakan dalam perhitungan nilai insiden busur api terdapat variabel waktu yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini

$$E = C_f \times E_n \times (t/0,2)^{(610/D)^x}$$

5. Untuk hasil yang didapat pada tugas akhir ini adalah pada tipikal 1 nilai insiden energi tertinggi 31.002 cal/cm² naik menjadi 39.9 cal/cm², pada tipikal 2 nilai insiden energi tertinggi 29.1 cal/cm² turun menjadi 26.1 cal/cm², pada tipikal 3 nilai insiden energi nya mengalami penurunan yaitu dari 82.8 cal/cm² menjadi 37.7 cal/cm².
6. Dengan mengetahui klasifikasi katagori *arc flash* pada setiap bus kita bisa menggunakan APD yang sesuai pada saat melakukan pekerjaan di area tersebut.
7. Pengklasifikasian kategori dan alat perlindungan diri yang tepat dapat memberikan rasa aman dan nyaman bagi para pekerja sehingga dapat bekerja secara optimal. Selain itu juga untuk menghindari jatuhnya korban jiwa akibat ledakan busur api.

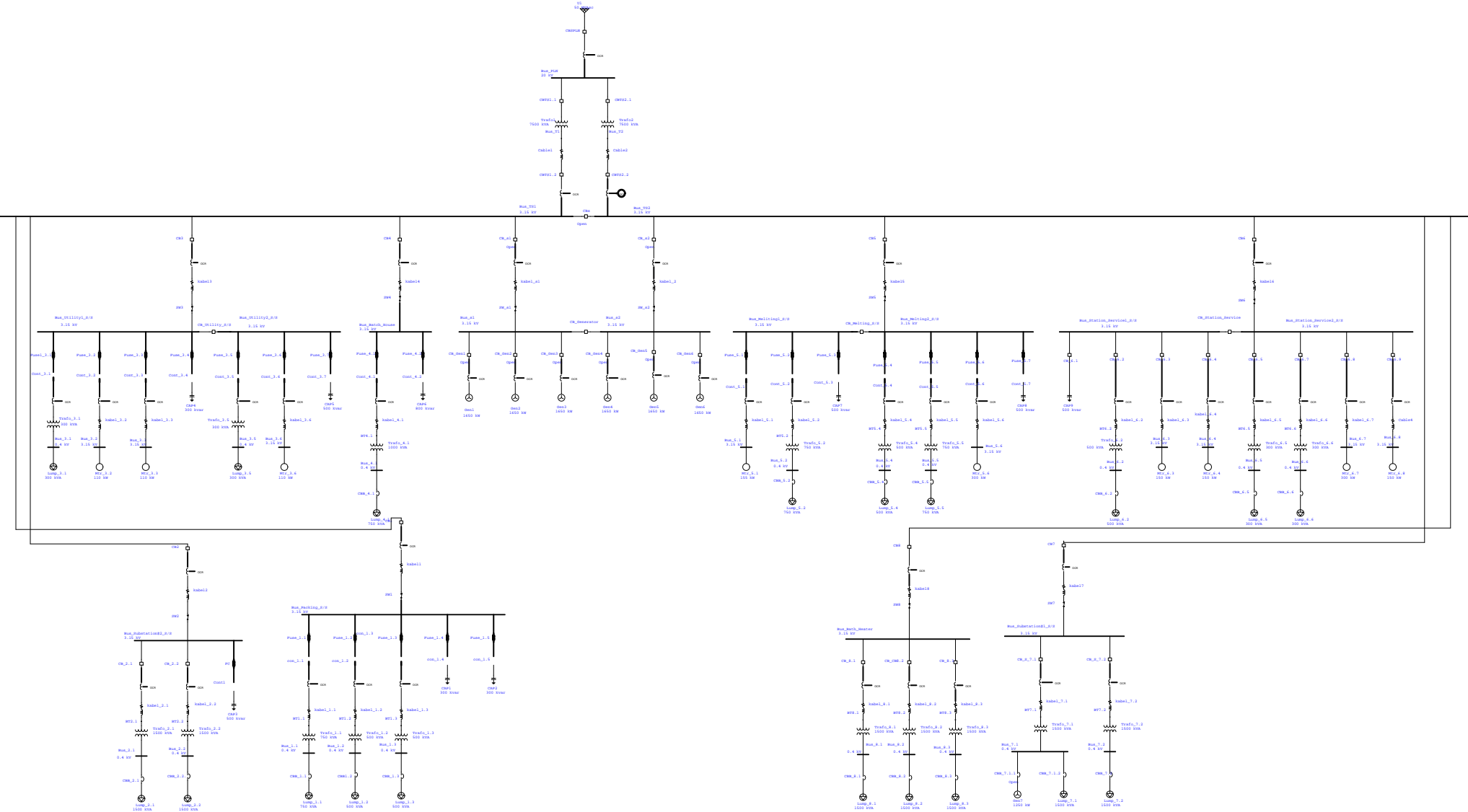
5.2 Saran

1. Berdasarkan *setting* rele pengaman yang didapat dan hasil dari koordinasi arus waktu *resetting* dapat dijadikan pertimbangan dan referensi dalam melakukan setting rele pengaman.
2. Hasil studi menunjukkan bahwa koordinasi proteksi di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo masih butuh perbaikan agar sistem kelistrikan dapat bekerja dengan baik sehingga dapat meningkatkan produksi serta mengurangi terjadinya kerusakan peralatan dan aman bagi para pekerja jika terjadi insiden busur api.

DAFTAR PUSTAKA

1. *"Impact of Arc Flash Hazards on Medium Voltage Switchgear"* K. R. Shah, Life Senior Member, A. Cinsavich, P. De Silva, Member Shah & Associates, Inc. 416 North Frederick Avenue, Gaithersburg, MD 20877 0197-2618/07/\$25.00 © 2007 IEEE.
2. *Workplace Safety Awareness Council, "Arc Flash Handout", Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor.*
3. *National Fire Agency (NFPA) 70E-2004, Standart for Electrical Safety in Workplace.*
4. *Balasubramanian, Ilanchezhian. "Impact of Available Fault Current Variation on Arc-Flash Calculation", IEEE Transactions on Industry Applications, vol 40, No 5, September/October 2010.*
5. *Tinsley H.W., Hodeker., Graham A.M., "Arc Flash Hazard Calculations – Myths, Facts, and Solutions," IEEE Industry Applications Magazine, pp. 58, January/February 2007.*
6. *IEEE Std. 1584-2002., "IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation", by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2002.*
7. *Chet Davis, P.E., Conrad St. Pierre, Dave Castor, P.E., Robert Luo, Ph.D., Satish Shrestha, "Practical Solution Guide to Arc Flash Hazard".*
8. *Pfeiffer, John C., "Arc Flash Article", Pfeifferengineering Co., Inc., 2008.*
9. *NFPA 70E., "Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces 2009 Edition", NFPA 70E-2009.*
10. *Burn Injury facts, "Arc Flash / Blast Hazard Prevention". Report #86 1-2006, April 2006,*
11. *Antony C.Parsons, W. Blane Leuschner, and Kevin X.Jiang., "Simplified Arc Flash Hazard Analysis Using Energy Boundary Curves." IEEE Transections on Industry Applications Vol.44 no.6, November/December 2008.*
12. *Soeprijanto, Adi "Kestabilan Sistem Tenaga Listrik, Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2", Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.*

13. Lazar irwin "*Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*", McGraw-Hill Inc., USA, Ch, 1, 1980.
14. IEEE Std 1584TM-2002, "*IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations*"
15. Keller, Kimberlay, "*Electrical Safety Code Manual*", Elsevier, Inc., USA, Ch. 7, 2010.
16. IEEE Std 242TM – 2001, "*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System*", The Institute Of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 4, Ch. 15, 2001.
17. Wahyudi, "Diklat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik", Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 1, 2014.
18. Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga, "Modul Pelatihan Koordinasi Pengaman", Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2016.



BIODATA PENULIS



Moch Irsad Taufiqi dilahirkan di Kediri, 28 Februari 1991. Menempuh pendidikan di SDN Batuaji pada tahun (1997-2003), SLTPN 1 Kandat tahun (2003-2006), dan SMAN 4 Kediri tahun (2006-2009). Setelah lulus sekolah, penulis melanjutkan kuliah di D3 Teknik Elektro UGM tahun (2009-2012). Pada tahun 2012, penulis melanjutkan studi di program Lintas Jalur Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya Jurusan Teknik Elektro bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Jika ada keperluan bisa

menghubungi di email fiqifrancesc@gmail.com